

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PGEAGRI – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROCESSAMENTO EM DIFERENTES SOLUÇÕES PARA OBTENÇÃO DE FEIJÃO
SECO COM REDUZIDO TEMPO DE COZIMENTO

CARLOS HENRIQUE DE OLIVEIRA PAZ

CASCAVEL – PR
FEVEREIRO – 2020

CARLOS HENRIQUE DE OLIVEIRA PAZ

**PROCESSAMENTO EM DIFERENTES SOLUÇÕES PARA OBTENÇÃO DE FEIJÃO
SECO COM REDUZIDO TEMPO DE COZIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientadora: Dra. Sílvia Renata Machado Coelho

Coorientadora: Dra. Vanderleia Schoeninger

CASCADEL – PR

FEVEREIRO – 2020

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Paz, Carlos Henrique de Oliveira

Processamento em diferentes soluções para obtenção de feijão seco com reduzido tempo de cozimento / Carlos Henrique de Oliveira Paz; orientador(a), Silvia Renata Machado Coelho; coorientador(a), Vanderleia Schoeninger, 2020.

84 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2020.

1. Qualidade Tecnológica. 2. Otimização. 3. Maceração. 4. Plackett-Burman. I. Coelho, Silvia Renata Machado. II. Schoeninger, Vanderleia. III. Título.

CARLOS HENRIQUE DE OLIVEIRA PAZ

Processamento em diferentes soluções para obtenção de feijão seco com reduzido tempo de cozimento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Tecnologias de Produção Vegetal e Pós-colheita, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Silvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Clair Aparecida Viegelli

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)



Divair Christ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 17 de fevereiro de 2020

BIOGRAFIA

Carlos Henrique de Oliveira Paz é filho de Emilia Aparecida de Oliveira e João Francisco Paz, nascido em 07 de fevereiro de 1996, natural de Cascavel – PR.

Em 2018, formou-se com grau de Bacharel em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Entre os anos de 2014 e 2017 foi bolsista PIBIC no Laboratório de Controle e Qualidade de Produtos Agrícolas (LACON), sob a orientação da professora Dra. Silvia Renata Machado Coelho.

Em março de 2018 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI) na UNIOESTE, *campus* Cascavel, como discente em nível de mestrado, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Em fevereiro de 2020, concluiu o curso de Mestrado com a aprovação desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca ter me desamparado nesta caminhada e por ter me proporcionado saúde, força, paciência, inteligência e discernimento;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e a disponibilidade de sua estrutura para que assim fosse possível realizar o curso e aprimorar meu conhecimento profissional;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo durante a realização deste curso de pós-graduação;

À minha orientadora, professora Dra. Silvia Renata Machado Coelho, por ter acreditado em mim, por toda a orientação, a amizade e o conhecimento compartilhados com a máxima dedicação;

À minha coorientadora Dra. Vanderleia Schoeninger, pela coorientação, a paciência, as valiosas sugestões, os ensinamentos e a amizade;

Ao Dr. Divair Christ, pela orientação e a paciência em contribuir para a realização desta pesquisa;

Aos professores da Pós-Graduação, pela contribuição durante a realização dos créditos;

À minha mãe Emilia Aparecida de Oliveira, por todo o seu amor, carinho, apoio e incentivo durante toda a minha jornada acadêmica;

Aos meus irmãos Jocemar de Oliveira Paz e Luiz Gustavo de Oliveira, por sempre apoiarem e encorajarem meus trabalhos;

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

PROCESSAMENTO EM DIFERENTES SOLUÇÕES PARA OBTENÇÃO DE FEIJÃO SECO COM REDUZIDO TEMPO DE COZIMENTO

RESUMO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L) é uma das principais fontes de proteína de muitas populações, com baixo custo, em relação à proteína de origem animal. Porém, seu consumo já foi maior, tendo redução devido ao elevado tempo de preparo. A necessidade de rapidez, comodidade e qualidade no preparo dos alimentos é a realidade atual e a indústria de processamento atua no sentido de atender estas aspirações do consumidor moderno. Visando a obtenção da redução do tempo de cozimento do grão de feijão e outras leguminosas, o processamento por maceração, processo em que o produto permanece em embebição, antes do cozimento, é uma etapa que permite a absorção de água, essencial para garantir maciez e reduzir o tempo de cocção. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos do processamento dos grãos com a operação de maceração em diferentes soluções nos parâmetros de qualidade do feijão carioca, buscando obter um produto seco com tempo de cozimento reduzido e manutenção das características de qualidade tecnológica, utilizando técnicas de planejamento experimental. Na primeira etapa do estudo, foi utilizado o planejamento tipo Plackett & Burman, avaliando os efeitos de sete fatores no processamento: tempo de maceração, concentração de bicarbonato de sódio (NaHCO_3), concentração de bicarbonato de potássio (KHCO_3), concentração de carbonato de sódio (Na_2CO_3), concentração de carbonato de potássio (K_2CO_3), concentração de cloreto de potássio (KCl) e concentração de ácido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$); sob as respostas: tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados, hidratação, sólidos totais no caldo de cozimento e diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle. Na segunda etapa, foram utilizados dois planejamentos do tipo DCC, apenas com os fatores que contribuíram para a redução do tempo de cozimento dos grãos e a manutenção de qualidade tecnológica. O processamento dos grãos, com concentrações de carbonato de sódio e carbonato de potássio superiores a 1,5%, utilizadas na maceração do feijão, reduziu consideravelmente a porcentagem de grãos danificados, a textura e o tempo de cozimento dos grãos; porém, escureceu o tegumento do feijão, aumentando as diferenças de cor dos grãos processados em relação ao controle. Os resultados obtidos poderão contribuir para pesquisas que visem o desenvolvimento de tecnologias de processamento do feijão com tempo de cozimento reduzido.

Palavras-chave: Qualidade Tecnológica; Otimização; Maceração; Plackett-Burman; Delineamento Composto Central.

PROCESSING IN DIFFERENT SOLUTIONS FOR OBTAINING DRY BEAN WITH REDUCED COOKING TIME

ABSTRACT

The Bean (*Phaseolus vulgaris* L) is one of the main sources of protein for many populations, with low cost, in comparison to animal protein. However, its consumption has been higher, having been reduced due to its long preparation time. The necessity for speed, convenience, and quality in the food preparation is the current reality and the processing industry seeks to meet these aspirations of the modern consumer. In order to reduce the cooking time of beans and other legumes, processing by maceration, a process in which the product remains soaked, before cooking, is a step that allows the absorption of water, essential to ensure softness and to reduce cooking time. Thus, the objective of the present study was to evaluate the effects of grains processing with maceration in different solutions in the quality parameters of Pinto beans, seeking to obtain a dry product with reduced cooking time and maintaining its characteristics in technological quality, using experimental planning techniques. In the first step of the study, Plackett & Burman planning was employed, evaluating the effects of seven factors in the processing: maceration time, sodium bicarbonate concentration (NaHCO_3), potassium bicarbonate concentration (KHCO_3), sodium carbonate concentration (Na_2CO_3), potassium carbonate concentration (K_2CO_3), potassium chloride concentration (KCl), and citric acid concentration ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$); under the responses: cooking time, percentage of damaged grains, hydration, total solids in the cooking broth, and difference in color of the processed grains compared to the control. In the second step, two plans of the DCC type were used, only with the factors that contributed to reduction of the cooking time and maintenance of technological quality. Grain processing, with concentrations of sodium carbonate and potassium carbonate above 1.5%, used in the maceration of beans, considerably reduced the percentage of damaged grains, the texture, and the cooking time of the grains; however, it darkened the bean tegument, increasing the color differences of the processed grains when compared to the control. The results obtained may contribute to further research on the development of technologies for processing beans with reduced cooking time.

Keywords: Technological quality; optimization; maceration; Plackett-Burman; central composite design.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Aspectos gerais da cultura do feijão: origem, importância e produção	4
3.2 Propriedades nutricionais dos grãos	5
3.3 Propriedades tecnológicas dos grãos e alterações no armazenamento.....	7
3.3.1 Tempo de cozimento	10
3.3.2 Cor dos grãos	11
3.4 Técnicas de processamento do feijão	14
3.4.1 Maceração dos grãos	16
3.5 Planejamento Experimental	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Caracterização do feijão sem processamento (controle).....	20
4.1.1 Determinação do teor de água.....	20
4.2 Primeira etapa: planejamento experimental do tipo Plackett & Burman	20
4.3 Descrições dos tratamentos de pré-processamento	22
4.4 Análises de qualidade a serem realizadas após os ensaios do planejamento Plackett & Burman	23
4.4.1 Tempo de cozimento	23
4.4.2 Capacidade de absorção de água antes do cozimento (hidratação)	24
4.4.3 Porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento	24
4.4.4 Sólidos totais no caldo de cozimento	24
4.4.5 Parâmetros de cor dos grãos.....	25
4.5 Segunda etapa: planejamento experimental do tipo delineamento composto central (DCC).....	25
4.5.1 Análises de qualidade realizadas após o planejamento DCC	26
4.6 Análise estatística	27

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1	Caracterização inicial do produto para o planejamento Plackett & Burman.....	28
5.2	Resultados relativos ao planejamento Plackett & Burman	29
5.2.1	Análise dos efeitos das condições de processo sobre o tempo de cozimento.....	31
5.2.2	Análise dos efeitos das condições de processo sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD)	34
5.2.3	Análise dos efeitos das condições de processo sobre a Hidratação	36
5.2.4	Análise dos efeitos das condições de processo sobre os sólidos totais no caldo de cozimento	38
5.2.5	Análise dos efeitos das condições de processo sobre a diferença de cor (ΔE^*) dos grãos processados em relação ao controle.....	41
5.3	Caracterização inicial do produto para o planejamento DCC	43
5.4	Resultados relativos ao planejamento DCC	45
5.4.1	Efeito da condição de processamento sobre o tempo de cozimento dos grãos de feijão carioca	47
5.4.2	Efeito da condição de processamento sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento dos grãos de feijão carioca	50
5.4.3	Efeito da condição de processamento sobre a textura dos grãos de feijão carioca após o processamento.....	51
5.4.4	Efeito da condição de processamento sobre a porcentagem de hidratação dos grãos de feijão carioca após o processamento	54
5.4.5	Efeito da condição de processamento sobre a diferença de cor (ΔE^*) dos grãos processados em relação ao controle	56
6	CONCLUSÕES	60
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
8	REFERÊNCIAS	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição centesimal média (g/ 100 g) em base seca do feijão cru	6
Tabela 2 Níveis dos fatores do planejamento Plackett & Burman e seus respectivos valores reais.....	21
Tabela 3 Matriz codificada do planejamento experimental Plackett & Burman com os valores das variáveis e seus respectivos níveis codificados.....	21
Tabela 4 Matriz decodificada do planejamento experimental Plackett & Burman com os valores das variáveis e seus respectivos níveis reais.....	22
Tabela 5 Matriz dos planejamentos e níveis estabelecidos para os fatores selecionados na realização do processamento, utilizando maceração dos grãos de feijão carioca.....	25
Tabela 6 Matriz dos planejamentos experimentais DCC com os valores codificados e reais dos fatores utilizados no processamento dos grãos de feijão carioca utilizando a maceração.....	26
Tabela 7 Caracterização da qualidade dos grãos não processados (controle)	28
Tabela 8 Valores do tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC), porcentagem de grãos danificados (PGD), porcentagem de sólidos totais no caldo, porcentagem de hidratação e diferença de cor (Δe) dos grãos processado	30
Tabela 9 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão carioca processados	32
Tabela 10 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta porcentagem de grãos danificados dos grãos de feijão carioca processados	35
Tabela 11 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta hidratação de feijão carioca processados.....	37
Tabela 12 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta hidratação de feijão carioca processados.....	39
Tabela 13 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão carioca processados, em relação ao controle.....	41
Tabela 14 Caracterização da qualidade dos grãos não processados (controle).....	44
Tabela 15 Valores do tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC), porcentagem de grãos danificados (PGD), textura ($N.gr\ddot{a}o^{-1}$), porcentagem de hidratação e diferença de cor (Δe) dos grãos processados em relação ao controle.....	45
Tabela 16 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão processados.....	48
Tabela 17 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para o tempo de cozimento dos grãos processados.....	48

Tabela 18 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento.....	50
Tabela 19 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento	51
Tabela 20 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta textura dos grãos de feijão processados.....	52
Tabela 21 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para a textura dos grãos processados	52
Tabela 22 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta hidratação dos grãos de feijão processados	54
Tabela 23 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para a porcentagem de hidratação dos grãos após o processamento.....	55
Tabela 24 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados	56
Tabela 25 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema para medição de cores CIELAB 1976.	12
Figura 2 Geometria do modelo de cor CIELAB 1976.	13
Figura 3 Aspecto visual dos grãos de feijão carioca, controle e processados, após a realização dos 15 ensaios do planejamento Plackett & Burman 15.	31
Figura 4 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre o tempo de cozimento do produto após o processamento.	33
Figura 5 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento.	36
Figura 6 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a hidratação dos grãos após o processamento.	37
Figura 7 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a porcentagem de sólidos totais no caldo de cozimento dos grãos após o processamento. ...	40
Figura 8 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a diferença de cor (ΔE^*) dos grãos processados em relação ao controle.	42
Figura 9 Aspecto visual dos grãos de feijão carioca, controle e processados, para os dois planejamentos, após a realização dos 7 ensaios do planejamento delineamento composto central (DCC).	47
Figura 10 Parâmetro tempo de cozimento (minutos), em função dos fatores concentração de Na_2CO_3 (%) (planejamento 01) e concentração de K_2CO_3 (%) (planejamento 02).	49
Figura 11 Parâmetro textura (N.grão-1) dos grãos, em função dos fatores concentração de Na_2CO_3 (%) (planejamento 01) e concentração de K_2CO_3 (%) (planejamento 02).	53
Figura 12 Parâmetro porcentagem de hidratação (%) dos grãos, em função do fator concentração de K_2CO_3 (%) (planejamento 02).	55
Figura 13 Parâmetro diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados, em função dos fatores concentração de Na_2CO_3 (%) (planejamento 01) e concentração de K_2CO_3 (%) (planejamento 02).	57

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o feijão é a principal leguminosa de consumo doméstico, fonte de proteínas para grande parte da população e, combinado com o arroz, é um dos pratos considerados mais completos nutricionalmente. É um alimento que apresenta em sua composição proteínas, fibras, vitaminas e minerais, sendo assim atribuída a qualidade de alimento funcional, que desempenha um papel importante na diminuição de glicemia e pressão arterial, contribuindo diretamente no controle de doenças (SILOCHI, 2015).

A qualidade tecnológica do grão de feijão está ligada à aceitabilidade do consumo e às características nutricionais. O tamanho do grão, conteúdo de proteína, amido e açúcares solúveis, além de lipídeos e minerais, influenciam nas características de cozimento (KIGEL, 1999). De acordo com Bassinello (2018), as principais características físicas e químicas relacionadas com a qualidade tecnológica dos grãos são: absorção de água antes e após o cozimento, tempo de cozimento, porcentagem de sólidos solúveis no caldo, cor do tegumento e do caldo, teor de fibra dietética, minerais, proteínas e vitaminas.

Antes do consumo do grão, é necessário o seu processamento por meio de cozimento e, por sua vez, na maioria dos casos, requer maior tempo dedicado a esse processo por parte do consumidor. Como resultado da urbanização e da inserção e concretização do espaço da mulher no mercado de trabalho, tarefas domésticas como cozinhar produtos que necessitam de maior dedicação e tempo deixaram de ser prioridade na rotina. O consumo interno *per capita* de feijão apresentou uma acentuada redução nos últimos anos. Nos anos 60, o consumo girava em torno de 26 kg/hab/ano. Em meados dos anos 90, a média era de 19 kg/hab/ano. Atualmente, o consumo per capita é em torno de 15 kg/hab/ano (DEPEC, 2017).

A necessidade de rapidez, comodidade e qualidade no preparo dos alimentos é a realidade atual, e a indústria de processamento atua no sentido de atender estas aspirações do consumidor moderno (SCHOENINGER et al., 2012). As etapas que precedem o processamento final de produtos são definidas como pré-processamento. Visando a obtenção da redução do tempo de cozimento do grão de feijão e outras leguminosas, o processamento por maceração, processo em que o produto permanece em embebição antes do cozimento, já adotado habitualmente pelos consumidores, é uma etapa que permite a absorção de água, essencial para garantir maciez e reduzir o tempo de cocção.

A maceração com a utilização de diferentes soluções químicas também traz resultados de diminuição no tempo de preparo do grão de feijão. Pesquisas apontam que a adição de sal, durante a hidratação, possibilita a redução no tempo de cozimento. Entretanto, há limites para essa concentração, pois um excedente propicia aumento no tempo de cozimento (BERTOLDO et al., 2010).

Portanto, a maceração dos grãos com a utilização de diferentes soluções pode ser uma alternativa para a indústria de processamento do feijão, assim como para outras

leguminosas. Nesse sentido, esta pesquisa pretende avaliar o efeito da aplicação de maceração combinada com diferentes soluções na diminuição do tempo de preparo de grãos de feijão.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da operação de maceração dos grãos em diferentes soluções nos parâmetros de qualidade do feijão, buscando obter um produto seco com tempo de cozimento reduzido.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar um planejamento experimental do tipo Plackett & Burman para a seleção de fatores que alteram a qualidade tecnológica de grãos de feijão carioca, submetidos ao processo de maceração em diferentes solutos com posterior secagem;
- b) Avaliar a alteração de qualidade tecnológica dos grãos: tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados, hidratação, sólidos totais, textura e cor dos grãos secos;
- d) Avaliar os efeitos dos fatores que contribuem para a redução do tempo de cozimento dos grãos de feijão, a fim de definir as melhores condições para o processamento dos grãos de feijão carioca;
- e) Realizar a avaliação de processos por meio de técnicas estatísticas, visando a obtenção de grãos de feijão com reduzido tempo de cozimento, com mínima diferença de cor e menor índice de dano ao produto após o processamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos gerais da cultura do feijão: origem, importância e produção

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado há centenas de anos, e continua a ser, em muitas regiões do mundo, a leguminosa mais consumida na dieta humana. Possui uma composição química que torna o seu consumo benéfico sob o ponto de vista nutricional, possuindo também compostos fenólicos que podem reduzir a incidência de doenças.

Muitos historiadores sugerem a existência de três centros primários de diversidade genética na origem do feijão. O mesoamericano, que se estende desde o Sudeste dos Estados Unidos até o Panamá, tendo como zonas principais o México e a Guatemala; o Sul dos Andes, que abrange desde o Norte do Peru até as províncias do noroeste da Argentina; e o Norte dos Andes, que abrange desde a Colômbia e a Venezuela até ao Norte do Peru. Foram também identificados outros centros secundários em algumas regiões da Europa, Ásia e África, onde foram introduzidos genótipos americanos (EMBRAPA, 2000).

Pertencente à classe Dicotyledoneae, família Fabaceae subfamília Faboideae e gênero *Phaseolus*, a espécie *P. vulgaris*, vulgarmente designada por feijão comum, é a mais difundida e consumida em diversos países (EMBRAPA, 2012).

O feijoeiro é uma planta herbácea, trepadeira ou rasteira, levemente pubescente, cujo ciclo de vida varia de aproximadamente 65 a 120 dias, dependendo da cultivar e das condições da época de cultivo. Pode apresentar quatro tipos de hábito de crescimento, sendo um tipo chamado determinado e os outros três definidos como indeterminados. Ostenta vagens retas ou ligeiramente curvas, achatadas ou arredondadas, com bico reto ou curvado, em geral com 9 a 12 cm de comprimento, e com 3 a 7 sementes (ALMEIDA; CANÉCHIO FILHO, 1987).

Os grãos de feijão podem apresentar diversas formas, com tamanhos variáveis e uma ampla variabilidade de cores, dependendo da cultivar. A qualidade das sementes de feijão que chegam até o consumidor depende de algumas características, como a época de colheita, manejo da época de colheita, condições de armazenamento e tecnologia de processamento (BERTOLDO et al., 2008).

As cultivares de feijão apresentam diferenças agrônômicas e tecnológicas devido principalmente ao perfil genotípico da planta. Conforme a instrução Normativa N° 12/2008, do Ministério da Agricultura e Pecuária, segundo a espécie que pertence, o feijão é classificado em dois grupos: grupo I, feijão comum proveniente da espécie *Phaseolus vulgaris* L.; grupo II, feijão-caupi (feijão-de-corda ou feijão-macassar), quando proveniente da espécie *Vigna unguiculata* (L) Walp. Em relação à coloração da película, os dois grupos são classificados em quatro classes distintas: branco, com 97% de grãos de coloração branca; preto, com 97% de grãos de coloração preta; cores, constituídos de 97% de grãos coloridos, admitindo-se até

10% de outros cultivares da classe cores, contrastes na cor ou no tamanho dos grãos. O feijão misturado é o produto que não se encaixa às especificações de nenhuma das classes anteriores (BRASIL, 2008).

Nas regiões produtoras de feijão, o plantio pode ser feito em três épocas. A primeira, conhecida como safra das águas, acontece de agosto a dezembro e concentra-se na Região Sul; a segunda safra, ou safra da seca, abrange todo o país e ocorre de janeiro a abril; a terceira safra, ou safra de inverno, concentra-se mais no Centro-Oeste e acontece de maio a agosto, dependendo do estado. Assim, durante todo o ano, sempre haverá produção de feijão em alguma região do Brasil (EMBRAPA, 2010).

Explorado por pequenos e grandes produtores, o feijão é uma cultura que assume grande importância socioeconômica, uma vez que é usado como fonte de proteína para grande parte da população mundial, especialmente onde o consumo de proteína animal é relativamente escasso. Além de fornecer quantidades apreciáveis de proteínas, possui também um bom teor de carboidratos, fibras, minerais, vitaminas, e um teor reduzido de lipídios. O teor de ferro é semelhante ao encontrado na carne bovina, sendo também uma boa fonte de cálcio, fósforo, potássio, magnésio, cobre e zinco (BARAMPAMA; SIMARD, 1993; SÁMMAN et al., 1999).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil na safra anual de 2019/2020 obteve uma produção total de 3.058.000 mil toneladas, para um total de área plantada de feijão de 2.921,4 mil hectares (CONAB, 2020).

A produção de feijão no Brasil está concentrada em três principais regiões: a primeira, no sul, formada pelos estados do Paraná e Santa Catarina; a segunda, na região central, formada pelos estados de Rondônia, Bahia, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso; e a terceira, no nordeste, constituída pelos estados do Piauí, Ceará e Paraíba (CONAB, 2020).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os principais estados produtores do grão na safra 2019/2020 foram o Paraná, que produziu 596.712 mil toneladas (19,5%); Minas Gerais, com 536.513 mil toneladas (17,5%); Goiás, com 334.273 mil toneladas (10,9%); São Paulo, com 303.600 mil toneladas (10%); Bahia, com 290.400 (9,4%); e Mato Grosso, com 280.332 mil toneladas (9,1%) (IBGE, 2020).

Nos últimos anos, a cultura do feijão no Brasil passou por inúmeras modificações, destacando-se o aumento de produtividade. A produtividade do feijoeiro está diretamente relacionada com os fatores ambientais e também com os cultivares, sendo que altas produtividades somente serão possíveis se a escolha criteriosa do cultivar estiver associada ao uso adequado das diversas práticas de manejo (EMBRAPA, 2011).

3.2 Propriedades nutricionais dos grãos

O conhecimento da composição dos alimentos é de fundamental importância para garantir segurança alimentar e nutricional e obter uma dieta equilibrada. Em geral, as

leguminosas são excelentes fontes de vários nutrientes e desempenham um importante papel na alimentação humana, por apresentarem evidências de que reduzem o risco de doenças cardiovasculares, diabetes, obesidade e determinados tipos de câncer (DIAZ-BATALLA et al., 2006).

Nas sementes do feijão, a composição química é bastante variável, podendo variar de acordo com a variedade, origem, localização, clima, condições ambientais, tipo de solo, armazenamento, processamento e modificações genéticas.

A composição média centesimal do feijão cru é incluída na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Composição centesimal média (g/ 100 g) em base seca do feijão cru

Componentes	Feijão Carioca	Feijão Preto	Feijão Rajado	Feijão Roxo
Carboidratos	61,2	58,8	62,9	60
Proteínas	20	21,3	17,3	22,2
Umidade	14	14,9	15	12,6
Cinzas	3,5	3,8	3,7	4,0
Lipídeos	1,3	1,2	1,2	1,2

Fonte: TACO (2011).

A quantidade de proteínas do feijão varia entre 200 e 350 g/Kg dependendo da cultivar; porém, o valor nutricional dessas proteínas não é satisfatório, uma vez que não possui todos os aminoácidos essenciais em quantidades significativas (JOURDAN et al., 2007). Segundo Bressani (1983), a proteína presente no feijão apresenta deficiência em aminoácidos sulfurados, particularmente em metionina.

O fracionamento da proteína do grão de feijão resulta em três frações: a proteína solúvel globulina G2, albumina e a faseolina ou globulina G1 (DEL PINO; LAJOLO, 2003). O feijão praticamente não contém prolaminas, e apresenta um teor relativamente baixo de glutelina. No entanto, as principais frações solúveis, globulinas e albuminas, representam em média 75% do total de proteínas do feijão (SGARBIERI, 1996).

O conteúdo de carboidratos dos grãos pode chegar a 65%, apresentando-se na forma de amido, polissacarídeos e oligossacarídeos, sendo o amido encontrado em maior quantidade, cerca de 80% (SILVA et al., 2009; ZAMINDAR et al., 2013). Segundo Prolla et al. (2010), o amido apresenta resistência à digestão enzimática no intestino delgado; logo, serve de substrato para a fermentação no cólon, benefício importante para a saúde humana. Pires et al. (2005), ao trabalharem com 11 cultivares de feijão, verificaram variações no conteúdo destes componentes entre 68,92 e 76,75%.

O feijão é uma fonte relativamente boa de vitaminas hidrossolúveis, como tiamina, riboflavina, niacina e folamina, mas apresenta um conteúdo pouco expressivo de vitamina A (GEIL; ANDERSON, 1994). Em relação aos minerais, o feijão é rico em potássio (cerca de

1%), fósforo (cerca de 0,04%), ferro (cerca de 0,007%), cálcio, cobre, zinco e magnésio, mas é pobre em sódio (SATHE et al., 1984).

No grão, ainda é possível encontrar entre 3 e 7% de fibras, que podem ser solúveis ou não. A fração solúvel tem sido apontada como responsável pela redução dos níveis de colesterol e de açúcar no sangue, enquanto a insolúvel é responsável pelo trânsito intestinal, exercendo assim importante papel na prevenção de doenças gastrintestinais (BASSINELLO, 2018). A fração insolúvel é composta de celulose, lignina e a maioria das hemiceluloses, enquanto a fração solúvel inclui substâncias pécicas, gomas, algumas hemiceluloses e β -glucanas (GUERRA et al., 2004).

Em relação ao total de fibras, em um estudo com dezenove cultivares de feijão, Londero et al. (2008) verificaram percentuais médios de 25,04% para fibra bruta, 3,58% para fibra solúvel e 21,46% para a fibra insolúvel. Em outro estudo, Mechi et al. (2005) observaram conteúdos de fibras alimentares igual a 38,6% no feijão cru e 25,9% no feijão cozido.

Nos grãos ocorre também a presença de outros componentes produzidos naturalmente pelas plantas: são os compostos fenólicos, que podem apresentar efeitos antinutricionais, os quais são capazes de inibir a digestibilidade de proteínas e de alguns minerais presentes no feijão. Dentre esses compostos, destacam-se os taninos presentes em sua maioria na casca dos grãos (SCHOENINGER, 2012).

Grandes concentrações dos compostos fenólicos promovem a impermeabilidade do tegumento de feijões (hard shell), o que dificulta a absorção de água. Esse defeito causa insolubilização de proteínas e perda dos conteúdos intracelulares para a água de embebição, diminuindo a qualidade dos grãos (BERTOLDO et al., 2009).

A variação do teor de micronutrientes pode ser resultado de inúmeros fatores, dentre eles, as características da planta (idade, maturação, espécie), a variabilidade genética de cada espécie, as características do meio ambiente (condições climáticas, solo, safras), o manejo, as práticas culturais, o processamento, o armazenamento, a temperatura e os métodos de preservação e de preparação que contribuem para a qualidade nutricional do feijão (RIBEIRO et al., 2008).

3.3 Propriedades tecnológicas dos grãos e alterações no armazenamento

A necessidade de buscar variedades de feijão com propriedades tecnológicas atrativas é algo crescente, uma vez que a cor, o aroma, a textura e o valor nutritivo dos alimentos determinam a aquisição e o consumo de alimentos. Para Corte et al. (2003), são destacadas as seguintes características de qualidade tecnológica do feijão: tempo de cozimento, porcentagem de grãos inteiros após o cozimento, textura, sabor, cor e sólidos totais no caldo.

Segundo Silhochi (2015), além das características de rápida hidratação e baixo tempo de cozimento, a espessura do caldo, sabor, textura, grãos moderadamente rachados,

aumento relativo do tamanho, casca delgada e boa estabilidade de cor são características importantes de qualidade.

A qualidade tecnológica e nutricional do feijão é determinada em parte pelo genótipo e influenciada pelas condições do ambiente de cultivo durante o desenvolvimento da planta e dos grãos. É afetada principalmente por fatores climáticos, alta temperatura no período de enchimento dos grãos, e também pode sofrer alguma alteração por práticas de cultivo, beneficiamento pós-colheita, condições de armazenamento e tecnologia de processamento (CORTE et al., 2003).

O armazenamento prolongado dos grãos, associado à temperatura e à umidade inadequadas, são fatores determinantes na perda da qualidade do feijão, caracterizada por aumento no tempo necessário para o cozimento, aumento no grau de dureza, mudanças no sabor e escurecimento do tegumento em algumas cultivares (RIOS et al., 2003). Schoeninger (2012) reafirma que os grãos podem apresentar perda de valor comercial após a colheita, devido, principalmente, à redução da sua capacidade de absorção de água, aumento no tempo de cozimento e escurecimento do tegumento.

Resende et al. (2008) também ressaltam que além do menor tempo de cocção os consumidores também prezam por grãos com melhor aptidão culinária, que reúnam aspectos positivos, tais como facilidade de embebição, alta expansão volumétrica e percentual de grãos inteiros após cozimento.

Outras características que afetam a aceitação das cultivares do feijão é o tamanho, o formato e a cor do grão. Grãos do grupo cores, com coloração clara, tamanho padrão, sem defeitos são facilmente comercializados no mercado, enquanto os produtos considerados inferiores, com tons escuros, tamanhos pequenos, trincados, quebrados e com alto teor de água apresentam maior oferta na entressafra (EMBRAPA, 2012). Conforme Bassinelo et al. (2003), há uma associação de que todo feijão de fundo mais escuro é considerado feijão velho e de difícil cozimento, característica essa mais visível no feijão carioca. Para os consumidores, grãos com coloração mais clara são tidos como macios, com preparo rápido e produção de caldo espesso, bem como de bom sabor e textura.

Em relação ao tamanho médio dos grãos, a cultivar Carioquinha, entre as peneiras 11 e 12, era considerado, até meados de 1998, como padrão. No entanto, com o surgimento da cultivar Pérola, esse padrão foi modificado, passando para o tamanho médio entre as peneiras 12 e 13, o qual se tornou o preferido pelas empresas empacotadoras e pelo consumidor final, fazendo com que o consumidor passasse a associar grãos maiores a melhor rendimento (CARBONELL et al., 2010).

Avaliando o efeito da estocagem sobre algumas propriedades físicas e químicas de feijão, Rios et al. (2003) observaram que, tanto com uma colheita antecipada quanto com uma colheita normal, após oito meses de estocagem, ocorre a redução da capacidade de absorção de água. A capacidade de absorção de água de grão de feijão cru está diretamente

relacionada ao tempo de cocção desses produtos e são determinantes na qualidade tecnológica e nutricional, pois a aceitação de um determinado cultivar pelo mercado depende de suas características culinárias de absorção de água, após a etapa de maceração (SILOCHI, 2015).

Para Sathe (2002), a capacidade de retenção de água dos grãos de feijão depende do tipo e da quantidade de proteínas, bem como da presença de componentes não proteicos. Entre os componentes não proteicos, destacam-se os carboidratos, aumentando a capacidade de retenção de água de preparações proteicas de feijão. Esta capacidade, em parte, depende do pH do sistema, pois o pH controla a carga elétrica das proteínas.

Os ácidos orgânicos presentes nos alimentos interferem diretamente em sua qualidade, pois influenciam modificações no sabor, odor, cor, textura e na segurança microbiológica, tendo em vista que a presença de micro-organismos patogênicos leva à produção de ácidos pelos caminhos metabólicos (GOMES; OLIVEIRA, 2011).

A determinação da acidez em conjunto com a medida de pH em grãos de feijão são parâmetros que podem contribuir na avaliação da qualidade tecnológica, nutricional e microbiológica destes produtos. Na avaliação microbiológica, os alimentos se dividem em pH inferiores ou superiores a 4,5, que, de modo geral, indica o seu grau de deterioração, atestado pela acidez ou basicidade desenvolvida (GOMES; OLIVEIRA, 2011; SILOCHI, 2015). Gomes e Oliveira (2011) relatam uma taxa de pH ótimo para grãos de feijão in natura, em torno de 5,4 a 6,5.

Outros fatores que estão relacionados à qualidade tecnológica do feijão são os fenômenos “hardshell” (casca dura) e “hard-to-cook” (difícil de cozinhar), que são fenômenos resultantes de condições inadequadas de armazenamento. Os grãos “hardshell” são aqueles que apresentam sementes maduras e secas, e que falham em absorver água dentro de um período razoavelmente longo quando umedecidas; já os grãos “hard-to-cook” (HTC) são aqueles que absorvem água, mas requerem um tempo de cozimento bastante prolongado para amolecer (BERTOLDO et al., 2009).

O desenvolvimento do fenômeno da casca dura (hardshell) impede a reidratação dos grãos, sendo favorecido pelas condições de baixa umidade relativa na atmosfera de armazenamento e pelo alto teor de água nos grãos. Por outro lado, o endurecimento dos cotilédones (hard-to-cook), que provoca dificuldades na sua cocção, é um fenômeno irreversível e depende principalmente das condições de armazenamento (SGARBIERI, 1987).

O processo de endurecimento do grão de feijão tem sido relacionado a diferentes mecanismos, mas principalmente à atuação enzimática. Possivelmente, durante o envelhecimento, o calor e a umidade elevada causariam a ativação de determinadas enzimas presentes nos cotilédones, desencadeando inúmeras reações (HINCKS; STANLEY, 1986). Segundo Ribeiro et al. (2005), o armazenamento do feijão em condições de altas temperatura e umidade relativa provoca o desenvolvimento do fenômeno HTC, acarretando aumento do

tempo de cozimento, alterações na composição química, diminuição do pH dos grãos, diminuição da solubilidade e mudanças no perfil eletroforético das proteínas.

O fenômeno HTC em grãos de leguminosas afeta sua qualidade e aceitabilidade. Com o endurecimento, aumenta o tempo de cocção dos grãos e, conseqüentemente, o gasto de energia, ocorrendo redução da palatabilidade e qualidade nutricional das leguminosas (REYES-MORENO; PAREDES-LÓPES, 1993). Feijões endurecidos não formam um caldo espesso e viscoso, sendo que este é um importante parâmetro de qualidade para os consumidores. Portanto, feijões endurecidos são menos aceitos pelos consumidores e causam importantes perdas (RIBEIRO et al., 2005).

3.3.1 Tempo de cozimento

A qualidade dos grãos de feijão é definida basicamente pelo seu comportamento frente a cocção, etapa comum tanto aos processos de industrialização quanto ao consumo doméstico. O tempo de cozimento é um fator limitante no consumo do feijão, pois em muitos casos ocorre a preferência por marcas e tipos de grãos que cozinham mais rápido, além de o consumidor sempre preferir o feijão recém-colhido (SCHOENINGER, 2012).

Fundamental no preparo do feijão para o consumo de mesa, o cozimento assegura a inativação de elementos antinutricionais e proporciona a caracterização das propriedades sensoriais de sabor e textura exigidos pelo consumidor. O menor tempo de cozimento é um fator fundamental para a aceitação de uma cultivar de feijão pelos consumidores, pois cultivares que apresentam grãos com cozimento rápido proporcionam economia de tempo e de energia (YOKOYAMA; STONE, 2000).

O tempo de cozimento depende de vários aspectos, como a natureza da cultivar, o tempo decorrido desde a colheita, as condições de armazenamento dos grãos e o modo de preparo. Alguns fatores como temperatura e o teor de água dos grãos influenciam no aumento do tempo de cozimento durante o processo de armazenamento. Grãos armazenados com teor de água inferior a 10% têm pouca ou nenhuma influência da temperatura ou do tempo de armazenamento, porém um teor de água elevado combinado com altas temperaturas e períodos prolongados no armazenamento podem interferir drasticamente na qualidade do feijão (MOTTA, 2016).

Coelho et al. (2009) relatam que, durante o armazenamento dos grãos de feijão, ocorrem algumas alterações químicas e estruturais que levam à depreciação da qualidade geral e do valor nutritivo do produto. Essa perda de qualidade caracteriza-se por mudanças na cor, no sabor e pelo aumento no grau de dureza dos grãos, resultando em acréscimos no tempo de cozimento. Segundo Schoeninger (2012), o tegumento do feijão perde a sua permeabilidade durante o armazenamento, o que contribui para o aumento do tempo de cocção. A análise fitossanitária inicial é outro fator importante, pois, conforme Resende et al.

(2008), ao estudarem feijão armazenado em presença de inseto-praga, o tempo de cozimento dos grãos aumentou linearmente durante o período de armazenamento dos grãos.

Coelho et al. (2009), ao estudarem grãos de feijão comum durante o armazenamento, observaram que tanto em grãos de feijão envelhecidos naturalmente quanto em grãos submetidos ao envelhecimento acelerado houve aumento do tempo de cocção durante o período de armazenagem, ocorrendo o defeito hard-to-cook (HTC), que implica na redução da qualidade tecnológica e culinária do produto.

Oliveira et al. (2013) apresentam como um bom parâmetro de qualidade os grãos que atingem o tempo de cozimento em um tempo menor que 30 minutos, visando a economia de energia e, conseqüentemente, de capital pelos consumidores. Ainda, relatam que o cozimento dos grãos de feijão por 20 a 25 minutos, em panela de pressão doméstica, possibilita a identificação de cultivares de feijão com melhor perfil sensorial.

A avaliação do tempo de cozimento é estabelecida pela legislação nacional e exigida para a inscrição de novas cultivares de feijão junto ao Serviço de Agricultura e Produção Agropecuária (BRASIL, 2003). O método oficial requerido para a avaliação do tempo de cozimento requer a utilização do cozedor de Mattson, com metodologia proposta por Proctor e Watts (1987).

A identificação de linhagem com menor tempo de cocção, rápida capacidade de hidratação, tegumentos que não se partam durante a cocção e que apresentem elevada expansão volumétrica após o seu preparo é fundamental para a obtenção de grãos com qualidade tecnológica (SILOCHI, 2015).

3.3.2 Cor dos grãos

As características de cor, tamanho e o brilho do grão de feijão podem determinar o seu consumo. Alguns consumidores demonstram preferência por grãos menores e opacos, outros desejam grãos maiores, que apresentem brilho. A preferência do consumidor determina a seleção e a obtenção de novos cultivares, exigindo destas não apenas boas características agrônômicas, mas também aspectos de cor que agreguem valor econômico (SHOENINGER, 2012; SILOCHI, 2015).

Nos produtos agrícolas, a alteração de cor está frequentemente relacionada às características de qualidade. Segundo Faroni et al. (2006), a alteração na coloração de produtos agrícolas é um atributo de qualidade de fácil identificação e de efeito imediato na aceitação de um produto pelo consumidor final. Para Giese (2000), a medida de cor é um parâmetro utilizado como um índice de qualidade para os alimentos in natura ou processados e, também, na avaliação de mudanças na qualidade em consequência do processamento e do armazenamento de produtos.

O escurecimento pós-colheita do tegumento de feijão é uma das características indesejáveis na comercialização do grão, que têm como consequência perdas para o produtor, o exportador e os distribuidores (ELSADR et al., 2011).

As causas exatas do escurecimento pós-colheita não são ainda bem conhecidas, mas podem ser atribuídas à combinação do ambiente, genética e alterações químicas que ocorrem no grão. O escurecimento é acelerado pela exposição à luz, à alta temperatura, à umidade e ao tempo de armazenamento. Os compostos fenólicos também estão correlacionados com o escurecimento de grãos na presença de oxigênio, devido a oxidações enzimáticas que ocorrem no tegumento (SARTORI, 1982).

As cores variam em três dimensões: luminosidade, que indica a relação entre a luz refletida e a luz absorvida; a coloração ou tonalidade cromática, que é o aspecto da cor que pode ser descrito; o croma, que expressa a intensidade de cor. As dimensões são arranjadas no espaço físico de acordo com os sistemas de cor, dentre estes: Cie, Hunter, Munsell e Cielab. Há destaque para o sistema $L^*a^*b^*$ ou CIELAB 1976 – Comissão Internacional de Iluminantes (Figura 1), que apresenta maior aceitação entre os pesquisadores, em todos os campos de aplicação (ALONSO-SALCES et al., 2005; GRANATO; MASSON, 2010).

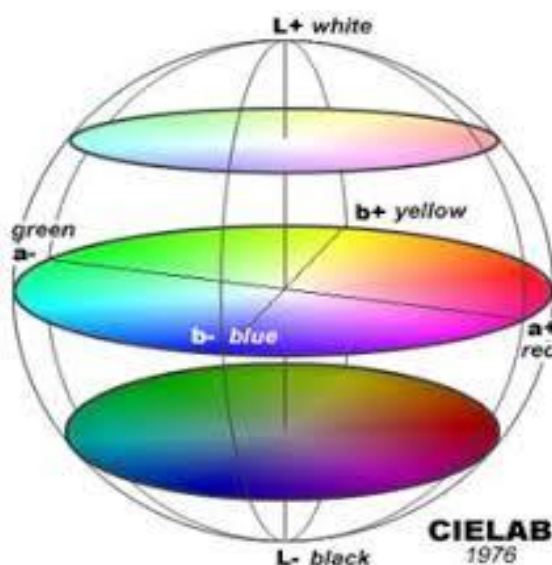


Figura 1 Esquema para medição de cores CIELAB 1976.
Fonte: Handprint (2018).

O espaço de cor CIELAB mede as coordenadas de cor a^* e b^* e também o índice de luminosidade (L^*). O parâmetro de cor a^* assume valores positivos para cores avermelhadas e valores negativos para as tonalidades esverdeadas (-60 a 60), enquanto que b^* assume valores positivos para cores em tom amarelo e negativos para tons em azul (-60 a 60) (GRANATO; MASSON, 2010). A luminosidade é o componente que descreve a cor em termos de tonalidade mais clara ou mais escura e é expressa em uma escala de zero a 100, em que o zero representa o preto absoluto e 100 o branco absoluto.

Para outra forma de visualização, utiliza-se o espaço de cor com coordenadas cilíndricas. A maneira de converter as coordenadas retangulares para este outro meio é apresentada nas Equações 1 e 2. O atributo de cor H^* (Equação 1), que é o indicador de tonalidade (Figura 2), está relacionado com as diferenças de absorbância, em diferentes comprimentos de onda:

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Eq.(1)}$$

Em que:

H^* - ângulo de coloração ou tonalidade cromática;

a^* - componente de cor vermelho-verde;

b^* - componente de cor amarelo-azul.

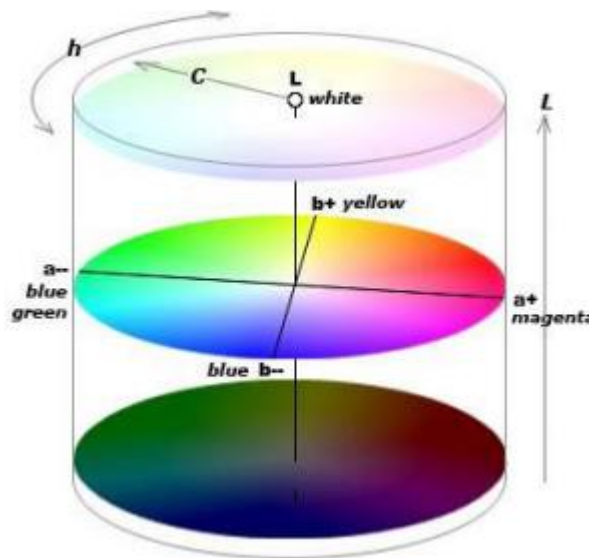


Figura 2 Geometria do modelo de cor CIELAB 1976.
Fonte: Handprint (2018).

O parâmetro croma C^* (Equação 2), que indica a cromaticidade ou intensidade de cor da amostra, também é determinado a partir dos resultados dos atributos a^* e b^* (Figura 2). Quanto maiores os valores de croma, maior a intensidade de cor das amostras percebida pelos seres humanos (GRANATO; MASSON, 2010):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Eq.(2)}$$

Em que:

C^* - cromaticidade;

b^* - componente de cor vermelho-verde;

a^* - componente de cor amarelo-azul.

As medidas de diferença de cor são importantes em processos da indústria de alimentos para verificar quais as alterações ocorridas, após os tratamentos aos quais o produto foi submetido. Também pode ser importante para medir a diferença de cor entre diferentes tratamentos utilizados nas etapas de pesquisa.

Armelin et al. (2007), ao avaliarem grãos de feijão da variedade carioca Tybatã, submetidos a diferentes dosagens de radiação gama, verificaram que não houve diferença significativa na qualidade da cor dos grãos submetidos ao tratamento de irradiação.

Brackmann et al. (2002), ao estudarem os parâmetros de cor de grãos de feijão de diferentes cultivares, quanto ao efeito do armazenamento, sob condições ambientais de refrigeração e sob atmosfera modificada, observaram que as duas condições contribuem para a manutenção da qualidade da cor durante o armazenamento do produto.

Ao avaliarem os parâmetros de cor de grãos de feijão BRS majestoso do grupo carioca armazenados e tratados com cera de carnaúba, Corrêa et al. (2012) constataram diferenças significativas para o tempo e o tratamento desses grãos e encontraram valores médios para croma de 17,41 e para o ângulo de coloração de 56,19.

Hellevang (2005) estudou os principais fatores que contribuem para a deterioração do feijão e quantificou os efeitos do teor de água de colheita, exposição à luz ultravioleta, temperatura e umidade de armazenamento. Grãos de feijão armazenados com 16% de umidade e expostos tanto à luz ultravioleta como a um espectro de luz similar à luz do dia, escureceram rapidamente poucas semanas após a colheita. O escurecimento é mais pronunciado no início do período de armazenamento. Isto indica a necessidade de se minimizar a exposição à luz durante ou até mesmo antes do período de armazenamento. As temperaturas de armazenamento mais elevadas causaram um escurecimento mais acelerado no feijão armazenado. O experimento ainda constatou mudanças de cor no tegumento, tendendo para o vermelho, principalmente quando o grão foi armazenado à temperatura mais alta e com umidade mais elevada. Os resultados mostraram que é extremamente importante armazenar feijões a temperaturas mais baixas para manutenção tanto da qualidade de cozimento como da cor.

3.4 Técnicas de processamento do feijão

Com as mudanças no cenário socioeconômico atual, a cadeia produtiva do feijão no Brasil indica um acentuado decréscimo no consumo. Para enfrentar os desafios da cultura do feijão, os programas de melhoramento genético em andamento no país têm lançado mão da integração das metodologias de melhoramento clássico com as modernas técnicas biotecnológicas (LEITE; ANTHONISEN, 2009; SCHOENINGER et al., 2014). Para Wander e Ferreira (2018), é necessário que todos aqueles que atuam nesta cadeia busquem alternativas mais adequadas às exigências do consumidor, agregando valor via

processamento na indústria, oferecendo produtos semiprontos e de reduzido tempo de cozimento.

A vida útil pós-colheita do feijão comercializado in natura é muito limitada, deteriorando em curto prazo. Uma oportunidade de agregar valor ao produto comercializado na forma prática de grãos debulhados seria por meio da técnica de processamento mínimo, que vem sendo empregada com sucesso em diversas culturas oleráceas (BATH et al., 1993; KLUGE et al., 1999; JACOMINO et al., 2002; CANTOS et al., 2002).

Um exemplo interessante é o do projeto Pulse Canadá, que além de atuar nas áreas de genética e melhoramento, visando a qualidade e a produção para o feijão, trabalha no desenvolvimento de métodos de processamento e de novos produtos de cozimento rápido para atender mercados específicos, como dietas livres de glúten (MASKUS, 2010).

Uebersax (2006) aponta como exemplo o caso de países desenvolvidos da Europa e América do norte, onde o feijão é preparado, geralmente, por meio de operações de processo tecnológico e consumido na forma de produtos industrializados. O processo inicia-se com o branqueamento dos grãos em água quente, envasamento, adição de salmoura e outros componentes, como o molho de tomate, a carne suína, os aditivos de sabor e, posteriormente, é realizado o envase hermético, seguido de processamento térmico sob pressão de vapor.

O feijão enlatado é um produto de características simples com grande aceitação, com destaque para o mercado americano. No entanto, neste seguimento da conveniência há espaço de mercado para o desenvolvimento de feijão que apresente todas as características de qualidade, seja na forma de produto desidratado, congelado ou extrusado (SHOENINGER, 2012).

O enlatamento de leguminosas garante o consumo na entressafra e proporciona economia de tempo e energia. Além disso, o processo de enlatamento do grão é responsável por esterilizar o produto e eliminar os fatores antinutricionais, mantendo a aparência, o sabor e a textura adequados à preferência do consumidor (LIMA et al., 2003).

O pré-processamento do feijão pode trazer benefícios, como o aumento no valor do produto e a melhoria na rentabilidade dos agricultores e fabricantes de alimentos. Grãos desidratados, pré-cozidos e enlatados estão em alta demanda na indústria de alimentos, restaurantes fast-food, alimentação escolar e consumidores domésticos. Contudo, um dos problemas relacionados com o processamento que leva à não aceitação do produto são os defeitos estruturais, tais como divisão dos grãos e ruptura da casca (PAN et al., 2010; SHOENINGER, 2012).

Em um estudo realizado por Pan et al. (2010), foi verificada a relação entre a estrutura dos grãos e a sua tendência ao dano após o pré-processamento, utilizando sistemas de detecção de impacto acústico (IAD) e separação por densidade (DS), aplicados aos grãos antes do processo. Grãos que apresentaram, antes do pré-processamento, frações de sinal acústico baixo tiveram maior porcentagem de grãos com danos na casca e de grãos partidos.

O feijão que apresentou baixa densidade, resultou em mais danos no tegumento e maior porcentagem de grãos partidos quando comparados ao de alta densidade.

O consumo de feijão pré-processado industrialmente ainda é muito baixo no Brasil, devido ao hábito do processamento doméstico. Para a população, o acesso a este tipo de produto é uma alternativa interessante, visto que o ritmo de vida atual obriga a se destinar cada vez menos tempo às atividades de preparo das refeições. Novos estudos são de suma importância para que as técnicas de pré-processamento de feijão possam ser otimizadas, visando o desenvolvimento de um produto de qualidade (SHOENINGER, 2012).

3.4.1 Maceração dos grãos

A maceração prévia ao processo de cozimento é uma etapa que permite absorção de água, sendo essencial na indústria de pré-processamento para garantir a maciez do produto (CORTE et al., 2003). Existe uma correlação negativa entre a absorção de água pelos grãos e o tempo de cocção, ou seja, quanto maior for a absorção de água, menor será o tempo de cozimento do grão. Grãos de feijão com maior tempo de cozimento tendem a absorver menos água do que aqueles que cozinham mais rapidamente (BERTOLDO et al., 2008).

Segundo Rehman et al. (2001), a maceração do feijão é uma prática comum para suavizar a textura e acelerar o cozimento. Entretanto, é um processo que, juntamente com o cozimento, pode acarretar perda de micro e macronutrientes e do conteúdo proteico. Para Zamindar et al. (2013), a maceração aumenta o conteúdo de água dos grãos antes do cozimento e, assim, acelera reações químicas, tais como a gelatinização do amido e a desnaturação proteica durante a cocção.

O principal objetivo da etapa de maceração é promover a hidratação do cotilédone do grão, através da passagem da água por capilaridades presentes no tegumento e no hilo. Dessa forma, ocorre o amaciamento do produto para que em seguida possa ocorrer o cozimento (SCHOENINGER, 2015). Em geral, o teor de água presente nos grãos de feijão, antes do processamento varia entre 12 e 16%; porém, a meta do processo de maceração é obter grãos com cerca de 53 a 57% de teor de água (WHITE; HOWARD, 2013).

Em feijões recém-colhidos, a casca contribui com cerca de 55% do tempo de cozimento do feijão e, para o produto armazenado, contribui com mais de 75% desse tempo. Portanto, a casca é a primeira barreira para o cozimento do feijão, assim como é fator responsável pela dureza dos grãos e, conseqüentemente, pelo seu grande tempo de cozimento (BASSINELLO, 2008; SCHOENINGER, 2015).

Toledo et al. (2008) avaliaram alguns métodos de cozedura, nomeadamente, cozedura em microondas, em panela de pressão e em panela normal, com e sem maceração prévia. Concluíram que a ausência de maceração provoca um aumento no tempo de cozedura, levando a uma inativação mais efetiva dos taninos. Ramírez-Cárdenas et al. (2008), ao avaliarem o efeito do processamento doméstico sobre os fatores antinutricionais em cinco

cultivares de feijão, verificaram que a maceração dos grãos contribuiu para a redução no conteúdo de fitatos, podendo ser explicada pela lixiviação dos íons fitatos na água sob a influência de um gradiente de concentração.

A possibilidade de redução no tempo de cocção de grãos quando hidratados viabilizou o planejamento de metodologias alternativas com o mesmo propósito. Dentre essas metodologias, a hidratação de grãos de feijão em soluções salinas é discutida em alguns trabalhos, de forma a viabilizar a cultura do feijão, objetivando grãos com menores tempos de cocção (BERTOLDO et al., 2008). Vale et al. (2010) relatam que uma estratégia a ser utilizada na tentativa de diminuir o tempo de cocção de grãos de feijão é a adição de sódio na água de hidratação, o qual quebra as ligações de pectato de cálcio e magnésio do tegumento, facilitando a absorção de água.

Ialcim e Ersan (2003), avaliando genótipos de grão de bico, relataram que a embebição de sementes de grão-de-bico em água com cloreto de sódio (NaCl) por 16 horas propicia uma redução no tempo de cozimento.

Bertoldo et al. (2010) investigaram a adição de diferentes concentrações de cloreto de sódio (0; 50 e 125 g.L⁻¹) na maceração em diferentes períodos (0; 5; 9 e 18 h) em dois genótipos (Pérola e Uirapuru), verificando o efeito destas condições no tempo de cozimento de grãos envelhecidos. As variáveis do processo tempo de hidratação e concentração de NaCl apresentaram efeitos significativos, ocorrendo, com o aumento do tempo de hidratação, redução no tempo de cozimento até o limite máximo de 12,5 h. O aumento na concentração de NaCl na solução de maceração possibilita o decréscimo no tempo de cozimento, até o limite máximo de 56,50 g.L⁻¹.

Urga et al. (2006), com o intuito de processar ervilhas (*Lathyrus sativus*) de cozimento rápido, utilizaram a maceração e o branqueamento em soluções contendo bicarbonato de sódio, ácido cítrico e cinzas de madeira. Verificaram que ocorre redução significativa no tempo de cozimento quando são utilizadas estas soluções na maceração. Wacu et al. (2015) relataram que a adição de carbonato de sódio na maceração de grãos de feijão envelhecidos das cultivares Rose coco e Red Kidney reduziu o tempo de cozimento em 75% para o Rose coco e 70% para Red Kidney.

Rehman et al. (2001) avaliaram a maceração em feijão branco e kidney em água e em solução com bicarbonato de sódio (1%), em diferentes temperaturas: 30 e 100 °C, por diferentes períodos: uma e duas horas. Após o processo de maceração, os grãos foram drenados, lavados em água destilada e secos a 55 °C. os autores verificaram que a temperatura e o tempo de maceração afetaram o conteúdo de carboidratos disponíveis e que a utilização do bicarbonato de sódio leva ao decréscimo destes componentes.

Schoeninger (2014), ao analisar o efeito das operações de branqueamento e maceração em soluções salinas nos parâmetros de qualidade do feijão carioca, verificou que o aumento da concentração de bicarbonato de sódio, utilizado na maceração do feijão, reduziu

consideravelmente o tempo de cozimento; em contrapartida, aumentou o nível de dano no produto e escureceu o tegumento do feijão. Ávila et al. (2015) observaram este efeito para o mesmo sal na redução do tempo de cozimento de feijão envelhecido. Os autores verificaram que, para o feijão Caupi, ocorreu diminuição no parâmetro tempo de cozimento, com a adição do NaHCO_3 na solução de maceração (14 minutos na solução de 0% para 2 minutos para a solução de 2,5%).

De acordo com Zamindar et al. (2013), longos períodos de maceração podem ser prejudiciais, favorecendo proliferação microbiana. Aminigo e Metzger (2005) ressaltam que os estudos e o conhecimento sobre o efeito dos pré-tratamentos nos grãos de feijão são de extrema importância, pois contribuem para a viabilização do desenvolvimento de novos produtos.

3.5 Planejamento Experimental

A necessidade da otimização de produtos e processos, minimizando custos e tempos, maximizando rendimento, produtividade e qualidade de produtos, tem levado profissionais de diferentes áreas a buscarem técnicas sistemáticas de planejamento para os seus experimentos, tanto na pesquisa acadêmica quanto na indústria (SCHOENINGER, 2012).

O planejamento consciente dos experimentos é indispensável para que resultados confiáveis sejam obtidos. A metodologia do planejamento fatorial associada à análise de superfícies de resposta, aliada à estatística, é a ferramenta que fornece informações seguras sobre o processo. Esse tipo de planejamento reduz o número de experiências ou repetições e melhora a qualidade da informação obtida através dos resultados, além de diminuir o trabalho, o tempo e os custos com a pesquisa (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

Segundo Schoeninger (2012), o planejamento fatorial é uma técnica bastante utilizada quando se tem duas ou mais variáveis independentes (fatores) em um determinado processo. Ela permite uma combinação de todos os fatores em todos os níveis, obtendo-se, assim, uma variável resposta sujeita a todas as combinações das demais.

Quando são analisados muitos fatores em um determinado processo, uma técnica que pode ser empregada é a seleção de variáveis por meio de ferramentas estatísticas conhecidas como matrizes de delineamento Plackett & Burman – matrizes de Hadamard que podem ser utilizadas na prática dos experimentos científicos (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

Planejamentos fatoriais são úteis para medir os efeitos ou a influência de uma ou mais variáveis na resposta de um processo. A metodologia de superfície de resposta pode ser utilizada para a avaliação da influência simultânea de diferentes condições de processos sobre a qualidade de um produto. É uma ferramenta estatística amplamente utilizada na otimização de processos (CALADO; MONTGOMERY, 2003; SCHOENINGER, 2012).

Quando são avaliadas mais de 8 variáveis independentes, os planejamentos de Plackett & Burman são mais interessantes para a seleção e a análise dos fatores. Este tipo

permite mais flexibilidade no número de ensaios e deverá ser utilizado na etapa de seleção dos fatores. Para o alcance das condições otimizadas de um processo é sempre interessante seguir as seguintes etapas: 1) seleção de variáveis, com a utilização de planejamento fatorial fracionado ou de Plackett & Burman, em que são identificadas as variáveis com efeito mais relevante no processo (PLACKETT; BURMAN, 1946); 2) otimização, com a utilização de um planejamento fatorial completo e construção de modelos preditivos; 3) validação das condições otimizadas, confirmando experimentalmente os resultados obtidos na análise da superfície de resposta.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas (LACON), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizado no *campus* de Cascavel, com grãos de feijão cultivados na região Oeste do Paraná.

Foram utilizados neste experimento grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) da cultivar BRS Estilo, a qual apresenta grãos classificados na classe comercial cores, safra de 2017, com colheita em 25 de maio, cultivados no município de Santa Tereza do Oeste – PR. Após a colheita, os grãos foram secos por meio de um processo de secagem natural em condições ambientais. O produto, após ser limpo, foi armazenado sob condições de refrigeração em câmara fria (5 °C), em embalagens plásticas. O produto ficou armazenado até o momento da realização do experimento, quando recebeu os tratamentos de pré-processamento.

4.1 Caracterização do feijão sem processamento (controle)

Os grãos de feijão não processados foram avaliados em relação ao parâmetro teor de água, descrito a seguir. Também foram avaliados em relação aos parâmetros descritos nos planejamentos.

4.1.1 Determinação do teor de água

O teor de água foi determinado utilizando-se o método padrão da estufa, de acordo com Brasil (2009). Foram pesadas três repetições de 5,00 g de grãos não processados, colocados em estufa a 105 °C por um período de 24 horas, dentro de recipientes de alumínio. Após 24 horas, foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador por um período de 20 minutos. As amostras foram pesadas novamente, obtendo-se o peso após a secagem e determinando-se o teor de água dos grãos de feijão, expresso em porcentagem.

4.2 Primeira etapa: planejamento experimental do tipo Plackett & Burman

Para a realização do experimento foi utilizado um Screening Design, que tem como objetivo a seleção de fatores, para posterior otimização de processos. O planejamento fatorial Plackett & Burman (PB) foi a ferramenta usada para o estudo da influência do tratamento de processamento na qualidade dos grãos.

Na Tabela 2 são apresentados os fatores do planejamento Plackett & Burman, com os respectivos níveis codificados em -1 e +1.

Tabela 2 Níveis dos fatores do planejamento Plackett & Burman e seus respectivos valores reais

Fator	Código	-1	0	+1
Tempo de maceração (h)	X ₁	4	10	16
Concentração de bicarbonato de sódio (NaHCO ₃) (%)	X ₂	0	1,50	3
Concentração de bicarbonato de potássio (KHCO ₃) (%)	X ₃	0	1,50	3
Concentração de carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃) (%)	X ₄	0	1,50	3
Concentração de carbonato de potássio (K ₂ CO ₃) (%)	X ₅	0	1,50	3
Concentração de cloreto de potássio (KCl) (%)	X ₆	0	1,25	2,50
Concentração de ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇) (%)	X ₈	0	0,75	1,50

Os níveis adotados para o planejamento foram definidos por testes preliminares e resultados de outras pesquisas (URGA et al., 2006; BERTOLDO et al., 2010; SCHOENINGER, 2012; WACU et al., 2015; ÁVILA, et al., 2015; KINYNJUI, et al., 2016; BUZERA et al., 2018).

O planejamento proposto foi o Plackett & Burman de 12 ensaios, ou seja, com 5 ensaios a mais que os 7 fatores a serem avaliados nesta pesquisa. Contou com mais três pontos centrais, totalizando 15 ensaios e está apresentado na Tabela 3. A ordem de realização dos ensaios no laboratório foi feita por sorteio. Após a realização de 4 ensaios principais foi realizado um dos ensaios do ponto central, permitindo assim o princípio de aleatorização ao experimento.

Tabela 3 Matriz codificada do planejamento experimental Plackett & Burman com os valores das variáveis e seus respectivos níveis codificados

Ensaios	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
01	1	-1	1	-1	-1	-1	1
02	1	1	-1	1	-1	-1	-1
03	-1	1	1	-1	1	-1	-1
04	1	-1	1	1	-1	1	-1
05	1	1	-1	1	1	-1	1
06	1	1	1	-1	1	1	-1
07	-1	1	1	1	-1	1	1
08	-1	-1	1	1	1	-1	1
09	-1	-1	-1	1	1	1	-1
10	1	-1	-1	-1	1	1	1
11	-1	1	-1	-1	-1	1	1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0

Notas: X₁ - tempo de maceração (h); X₂ - concentração de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) (%); X₃ - concentração de bicarbonato de potássio (KHCO₃) (%); X₄ - concentração de carbonato de sódio (Na₂CO₃) (%); X₅ - concentração de carbonato de potássio (K₂CO₃) (%); X₆ - concentração de cloreto de potássio (KCl) (%); X₇ - concentração de ácido cítrico (C₆H₈O₇) (%).

Os níveis reais para os sete fatores que foram analisados no processamento do feijão são apresentados na Tabela 4.

Após esta primeira etapa de Screening Design do tipo Plackett & Burman, foram avaliados os efeitos do processamento nas seguintes respostas: tempo de cozimento dos grãos, capacidade de absorção de água antes do cozimento, índice de grãos danificados, sólidos totais no caldo de cozimento e parâmetros de cor. As análises foram realizadas com os grãos processados e também com grãos considerados controle.

Tabela 4 Matriz decodificada do planejamento experimental Plackett & Burman com os valores

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
01	16	0	3	0	0	0	1,50
02	16	3	0	3	0	0	0
03	4	3	3	0	3	0	0
04	16	0	3	3	0	2,50	0
05	16	3	0	3	3	0	1,50
06	16	3	3	0	3	2,50	0
07	4	3	3	3	0	2,50	1,50
08	4	0	3	3	3	0	1,50
09	4	0	0	3	3	2,50	0
10	16	0	0	0	3	2,50	1,50
11	4	3	0	0	0	2,50	1,50
12	4	0	0	0	0	0	0
13	10	1,50	1,50	1,50	1,50	1,25	0,75
14	10	1,50	1,50	1,50	1,50	1,25	0,75
15	10	1,50	1,50	1,50	1,50	1,25	0,75

das variáveis e seus respectivos níveis reais

Notas: X₁ - tempo de maceração (h); X₂ - concentração de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) (%); X₃ - concentração de bicarbonato de potássio (KHCO₃) (%); X₄ - concentração de carbonato de sódio (Na₂CO₃) (%); X₅ - concentração de carbonato de potássio (K₂CO₃) (%); X₆ - concentração de cloreto de potássio (KCl) (%); X₇ - concentração de ácido cítrico (C₆H₈O₇) (%).

4.3 Descrições dos tratamentos de pré-processamento

Conforme se verifica na Tabela 4, ocorreram ensaios que utilizaram a hidratação dos grãos em sete diferentes tipos de solução (bicarbonato de sódio, bicarbonato de potássio, carbonato de sódio, carbonato de potássio, cloreto de potássio e ácido cítrico), em diferentes concentrações e tempos de maceração.

Para a análise do efeito de cada uma das soluções na qualidade dos grãos de feijão, foi realizado o processo de maceração, em temperatura ambiente, para cada uma das soluções, com suas diferentes concentrações e tempos de maceração. Para tanto, 100 gramas de feijão foram acondicionados em um béquer com 400 mL de cada uma das

soluções, e deixados de molho por diferentes períodos, de acordo com o planejamento (Tabela 4). Após a maceração, os grãos foram secos em estufa de circulação e renovação de ar à temperatura de 50 °C, até atingirem a umidade de 10%. Posteriormente, foram submetidos a análises de qualidade tecnológica.

4.4 Análises de qualidade a serem realizadas após os ensaios do planejamento Plackett & Burman

Após os 15 ensaios de pré-processamento, proposto pela matriz Plackett & Burman, os grãos processados e controle foram submetidos às análises de qualidade descritas a seguir.

4.4.1 Tempo de cozimento

A determinação do tempo de cozimento foi realizada com o auxílio do aparelho cozedor de Mattson modificado, seguindo o método proposto por Proctor e Watts (1987).

O aparelho de Mattson modificado possui 25 hastes com 20 cm de comprimento e massa de 82,0g cada, sendo que esta massa representa a força média que o consumidor utiliza entre os dedos para verificar a maciez e, conseqüentemente, o cozimento do grão.

Para a realização da análise, primeiramente foram colocados 30g de feijão em um béquer de capacidade 250 mL, contendo 100 mL de água destilada por um período de 16 horas. Em seguida, foram escolhidos vinte e cinco grãos inteiros que foram colocados em cada uma das vinte e cinco cavidades do aparelho cozedor, com as hastes metálicas suspensas em cima de cada um dos grãos.

O cozedor foi então colocado em banho-maria, contendo 1,5 L de água em ebulição, sendo este volume completado durante o cozimento, com água também em ebulição. O tempo foi cronometrado a partir do momento em que a água atingiu, aproximadamente, a temperatura de 95 °C. O tempo de cozimento dos grãos foi verificado visualmente e definido quando 13 dos 25 grãos foram perfurados pelas hastes metálicas.

Com os valores do tempo de cozimento (minutos) das amostras de feijão processado e do controle, foi realizado o cálculo da alteração do tempo de cozimento (ATC) dos grãos, utilizando-se a Equação 3:

$$ATC = \left(\frac{TC_{\text{controle}} - TC_{\text{amostra}}}{TC_{\text{controle}}} \right) \times 100 \quad \text{Eq.(3)}$$

Em que:

ATC - Alteração do tempo de cozimento da amostra, em relação ao controle (%);

TC_{controle} - tempo necessário para o cozimento dos grãos de feijão considerados controle (não processados), em minutos;

$TC_{amostra}$ - tempo necessário para o cozimento dos grãos das amostras de feijão pré-processado, em minutos.

4.4.2 Capacidade de absorção de água antes do cozimento (hidratação)

Para análise de absorção de água antes do cozimento, foi utilizada a metodologia proposta por Carbonell et al. (2003). Foram pesadas três amostras de feijão de aproximadamente 30 gramas. Os grãos foram colocados em béquers de 250 mL e foi adicionado 100 mL de água destilada. O produto foi mantido em condições de temperatura ambiente durante o período de 16 horas. Após o processo de hidratação, os grãos foram drenados e mantidos durante 15 minutos sobre papel toalha e então pesados novamente. Calculou-se a capacidade de absorção de água com base na massa obtida antes e após o processo, expresso em porcentagem.

4.4.3 Porcentagem de grãos danificados após o pré-processamento

Após a última etapa de processamento, foi avaliada a porcentagem de grãos danificados, utilizando-se metodologia adaptada de Carbonell et al. (2003).

Após a secagem, todos os grãos foram pesados e separados manualmente em duas porções, danificados e não danificados. Para a classificação de produto danificado foram consideradas a presença de rachaduras no tegumento, o desprendimento da casca do tegumento e a presença de bandinhas (feijão partido). Os grãos danificados foram pesados e este parâmetro foi determinado pela Equação 4:

$$PGD = \left(\frac{M_{\text{danificados}}}{M_{\text{total}}} \right) \times 100 \quad \text{Eq.(4)}$$

Em que:

PGD - porcentagem de grãos danificados após o processamento (%);

$M_{\text{Danificados}}$ - massa dos grãos danificados após o processo (g);

M_{Total} - massa total dos grãos (g).

4.4.4 Sólidos totais no caldo de cozimento

Os grãos de feijão foram cozidos, conforme o tempo determinado pelo aparelho cozedor de Mattson, para cada um dos ensaios. Após a cocção, o teor de sólidos totais no caldo (ST) (%) foi determinado, utilizando-se uma amostra de 10 mL de caldo drenado submetida à secagem em estufa, em temperatura de 105 °C por 24 horas, baseando-se na metodologia adaptada descrita por Sartori (2006).

4.4.5 Parâmetros de cor dos grãos

Para a determinação da cor do produto, foi feita a leitura direta dos grãos de feijão com um colorímetro digital da marca Konica Minolta®, modelo CR 410, com abertura de 50 mm. Antes da realização das leituras, foi necessária a calibração do aparelho em placa cerâmica, com padrões pré-estabelecidos pelo fabricante ($Y=85,8$; $x=0,3195$ e $y=0,3369$), utilizando o iluminante D65, pois este representa a média da luz do dia. Foram realizadas as leituras das amostras com três repetições, obtendo-se valores médios de a^* e b^* (GRANATO; MASSON, 2010).

4.5 Segunda etapa: planejamento experimental do tipo delineamento composto central (DCC)

Após a seleção dos fatores que apresentaram efeitos significativos no primeiro experimento, foi definido um novo planejamento que consistiu em dois delineamentos compostos centrais (DCC), com quatro ensaios principais e três repetições no ponto central, para cada um dos planejamentos. Para a realização do segundo planejamento foi adquirido no mercado local um novo lote de grãos da mesma variedade (BRS estilo). Os fatores selecionados e seus respectivos níveis estão apresentados na Tabela 5. Os níveis para os fatores tempo de maceração, concentração de carbonato de sódio e concentração de carbonato de potássio foram os mesmos utilizados no planejamento Plackett & Burman.

Tabela 5 Matriz dos planejamentos e níveis estabelecidos para os fatores selecionados na realização do processamento, utilizando maceração dos grãos de feijão carioca

Fatores	Níveis		
	-1	0	+1
Planejamento 01 (carbonato de sódio)			
Tempo de maceração (h)	4	10	16
Concentração de Na_2CO_3 (%)	0	1,5	3
Planejamento 02 (carbonato de potássio)			
Tempo de maceração (h)	4	10	16
Concentração de K_2CO_3 (%)	0	1,5	3

Na Tabela 6 apresenta-se a matriz dos dois planejamentos compostos centrais, definida para a segunda etapa da pesquisa, com os seus valores codificados e reais.

Tabela 6 Matriz dos planejamentos experimentais DCC com os valores codificados e reais dos fatores utilizados no processamento dos grãos de feijão carioca utilizando a maceração

Ensaio	Fatores	
	Tempo de maceração (h)	Concentração de Na_2CO_3 (%)
Planejamento 01 (carbonato de sódio)		
01	-1 (4)	-1 (0)
02	1 (16)	-1 (0)
03	-1 (4)	1 (3)
04	1 (16)	1 (3)
05	0 (10)	0 (1,5)
06	0 (10)	0 (1,5)
07	0 (10)	0 (1,5)
Planejamento 02 (carbonato de potássio)		
	Tempo de maceração (h)	Concentração de K_2CO_3 (%)
01	-1 (4)	-1 (0)
02	1 (16)	-1 (0)
03	-1 (4)	1 (3)
04	1 (16)	1 (3)
05	0 (10)	0 (1,5)
06	0 (10)	0 (1,5)
07	0 (10)	0 (1,5)

4.5.1 Análises de qualidade realizadas após o planejamento DCC

Após a realização da segunda etapa do experimento, que constituiu em um planejamento utilizando-se apenas os fatores selecionados, os grãos foram submetidos às análises de: tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados, hidratação e diferença de cor em relação ao controle, conforme descrito em 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 e 4.4.5. Também foi realizada a análise de textura dos grãos, conforme descrita a seguir.

4.5.1.1 Textura dos grãos

A textura dos grãos foi determinada pelo uso do texturômetro Stable Micro-System Model TAX.T. plus (Texture Analyser), com corpo de prova tipo cilindro. Nas análises, mediu-se a resistência que os grãos de feijão ofereciam ao ser penetrados pelo corpo de prova a uma velocidade de 2 mm.s^{-1} e compressão de 75%.

Para cada condição experimental foram utilizados quinze grãos de feijão, que foram embebidos em 60 mL de água destilada pelo período de 12 horas a uma temperatura ambiente de 25°C . Ao completar o tempo de embebição os grãos foram drenados, para a retirada do excesso de água em papel filtro por 2 minutos e analisados individualmente. As condições de operação do equipamento para os grãos foram: força de compressão de 0,05 N

(Newton), fundo de escala (“range”) de 20, e como “probe” foi utilizado cilindro de alumínio de 10 mm, velocidade constante de 2 mm.s^{-1} (MORI, 2001).

4.6 Análise estatística

Para a análise estatística foi utilizado o software computacional Statistica, versão 12.0. Os dados obtidos, após a realização do planejamento Plackett & Burman, foram submetidos à análise de efeitos lineares. Foi possível a avaliação do erro puro e da reprodutibilidade do processo pelos resultados obtidos nos ensaios na condição de ponto central. Foi estabelecido o nível de 10% de significância, pois em delineamentos de seleção de fatores ou quando se trabalha em processos complexos é mais prudente se trabalhar com este nível. Com tal estratégia minimiza-se o risco de excluir da etapa seguinte algum fator importante para o processo (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

Os dados obtidos, após a realização do planejamento DCC, foram analisados de maneira a calcular os efeitos principais e de interação das variáveis: tempo de maceração, concentração de carbonato de sódio e concentração de carbonato de potássio, sobre as respostas: tempo de cozimento, hidratação, porcentagem de grãos danificados, textura e diferença de cor dos grãos processados, determinando-se quais os fatores significativos ($p < 0,10$) e ajustando-se um modelo para correlacionar as variáveis e suas respostas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), na qual foi possível verificar a validade estatística e a capacidade de predição dos modelos matemáticos obtidos para as respostas, pelo valor da relação F calculado / F tabelado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização inicial do produto para o planejamento Plackett & Burman

Na Tabela 7 são apresentadas as características iniciais dos grãos de feijão não processados, considerados controle. O produto apresentou teor de água médio inicial de 8,24% e tempo de cozimento dos grãos igual a 20 minutos.

Tabela 7 Caracterização da qualidade dos grãos não processados (controle)

Análise	Valor médio*
Teor de água (%)	8,24
Tempo de cozimento (minutos)	20
Capacidade de absorção de água antes do cozimento (%)	94,87
Sólidos totais no caldo (%)	2,03
Luminosidade	63,95
a*	16,50
b*	21,98
Cromaticidade	27,48
Ângulo de coloração (°)	53,11

Nota: * Média de triplicata para cada análise.

A maior aceitabilidade de grãos de feijão pelos consumidores pode depender não só do seu valor nutricional, mas também do tempo de cozimento, pois os consumidores têm cada vez mais restrição de tempo para o preparo de suas refeições. Cultivares que apresentam menores tempos de cozimentos resultam para o consumidor em economia de energia e de tempo (BASSINELLO, 2008; SCHOENINGER, 2012; OLIVEIRA et al., 2013).

O tempo de cozimento dos grãos é um importante parâmetro de qualidade que pode apresentar variações de acordo com a cultivar, o ambiente e as práticas no cultivo, as condições e o tempo de armazenamento (MORAIS et al., 2010; ZAMINDAR et al., 2013).

Siqueira et al. (2014) estudaram o tempo de cozimento dos genótipos BRS Estilo, BRS Madreperola e BRS Pontal e registraram tempos de 18, 19 e 22 minutos, respectivamente. O valor encontrado neste trabalho, para a cultivar BRS Estilo, fica dentro deste intervalo.

Os grãos apresentam capacidade de absorção de água antes do cozimento igual a 94,87%. A maior capacidade de absorção de água pelos grãos de feijão tem sido relacionada, de forma direta, ao menor tempo de cocção, e esta característica é muito importante para a comercialização do feijão (RODRIGUES et al., 2005; DELFINO; CANNIATTIBRAZACA, 2010). Rodrigues et al. (2005), ao estudarem a correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão, observaram que a capacidade de absorção da água pelos grãos apresenta correlação negativa e significativa com o tempo de cozimento, ou seja, o tempo de cocção reduz com o aumento da absorção de água pelos grãos.

Para os sólidos totais no caldo de cocção foi observado o valor de 2,03%. Segundo Bassinello et al. (2003), as quantidades de sólidos presentes na amostra ditam as características do caldo de cozimento, sendo que, quanto maior a quantidade de sólidos totais, mais encorpado é o caldo.

A presença de maior teor de sólidos totais na água de cocção é causada pelo maior tempo em que os grãos permanecem no processo de cozimento, bem como pelo maior número de grãos partidos, os quais facilitam a passagem dos componentes dos grãos para o meio de cocção. Logo, a redução no tempo de cozimento do feijão é importante do ponto de vista nutricional por diminuir a perda de sólidos e evitar a destruição de vitaminas (PERINA et al., 2010; COELHO et al., 2009).

Em relação aos parâmetros de cor, observou-se para a luminosidade, parâmetro que pode variar entre 0 e 100, o valor de 63,95. Valores maiores de luminosidade indicam grãos com tonalidade mais claras e valores menores representam tegumento mais escurecido. O armazenamento inadequado de grãos de feijão é um fator crítico que altera significativamente a luminosidade, ocorrendo diminuição ao longo do período e implicando em menor aceitação do produto por parte do consumidor, devido ao escurecimento do tegumento mais acentuado em variedades de feijão carioca (PARREDES-LÓPES et al., 1991; RIOS et al., 2003; COELHO et al., 2009).

O ângulo de coloração apresentou o valor de 53,11° (Tabela 7), ou seja, a cor está localizada no primeiro quadrante e, visualmente, é percebida como um tom resultante da mistura de cores vermelho e amarelo, representando para a amostra a cor marrom claro. O parâmetro cromaticidade indica a intensidade ou pureza do tom, independente de quão clara ou escura é a cor, que, neste caso, apresentou valor de 27,48, indicando cor acinzentada, uma vez que, quanto maior é o seu valor, a cor é mais intensa ou altamente cromática, parecendo luminosa ou concentrada, enquanto que valores baixos (acromático), como o observado, indicam cor acinzentada, fraca ou diluída (GRANATO; MASSON, 2010).

5.2 Resultados relativos ao planejamento Plackett & Burman

Na Tabela 8 apresentam-se os resultados para os parâmetros: tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados, porcentagem de sólidos totais no caldo, porcentagem de hidratação e diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle, analisados após a realização dos ensaios do planejamento Plackett & Burman.

Conforme as condições utilizadas no pré-processamento do feijão (Tabela 4), para o tempo de cozimento dos grãos, verificou-se média geral de 9,53 minutos, com variação entre um (ensaio 06) e 19 minutos (ensaio 12), ou seja, todos os resultados foram inferiores à média do grão controle.

Em relação ao percentual de alteração do tempo de cozimento (ATC), verificou-se média geral de 52,33, sendo que a condição do ensaio 06 implicou na redução de 95% desse parâmetro, sendo a maior redução observada.

Tabela 8 Valores do tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC), porcentagem de grãos danificados (PGD), porcentagem de sólidos totais no caldo, porcentagem de hidratação e diferença de cor (Δe) dos grãos processado

Ensaio	Tempo de cozimento*/ (ATC%)	PGD	Sólidos Totais*	Hidratação*	Diferença de cor* (Δe)
01	12 (40)	2.95	2.19	101.72	11.9
02	2 (90)	1.15	2.23	86.5	29.84
03	14 (30)	1.11	1.39	94.53	13.57
04	2 (90)	1.63	1.56	85.86	39.59
05	2 (90)	1.86	1.61	87.32	36.58
06	1 (95)	1.41	1.82	88.32	35.58
07	13 (35)	1.44	1.26	90.3	14.03
08	13 (35)	0.81	2.02	93.23	6.53
09	14 (30)	1.34	1.23	94.32	10.4
10	10 (50)	1.75	1.4	92.59	16.08
11	17 (15)	1.54	1.51	95.3	7.54
12	19 (5)	2.35	2.13	95.84	3.69
13	8 (60)	1.51	2.23	87.04	20.39
14	8 (60)	1.58	2.21	87.46	20.85
15	8 (60)	1.51	2.23	87.9	20.9

Nota: * Médias de três repetições.

A porcentagem de grãos danificados após o processamento apresentou média geral de 1,59%, com variação de 0,81 a 2,95%, para os ensaios 08 e 01, respectivamente. Esses valores são considerados baixos, tendo em vista que os grãos que apresentaram, após a secagem, rachaduras no tegumento, desprendimento da casca e/ou bandinhas podem interferir no aspecto visual do produto e causar menos aceitabilidade pelo consumidor.

A porcentagem de sólidos totais no caldo de cozimento apresentou média geral de 1,80%, com variação entre 1,23% (ensaio 09) e 2,23% (ensaios 02, 13 e 15). A maior porcentagem de sólidos totais no caldo contribuiu para a produção de um caldo mais espesso.

Com relação à hidratação dos grãos após o processamento, observou-se média geral de 91,21%, com variação de 87,04 a 101,72%, para os ensaios 13 e 01, respectivamente. A capacidade de hidratação é uma característica importante no processamento do feijão, doméstico ou industrial, visto que contribui na diminuição dos teores de alguns fatores antinutricionais, além de promover maciez e reduzir o tempo necessário para o preparo dos grãos.

Para a diferença de cor (Δe) dos grãos processados, verificou-se média geral de 19,16, com variação mínima de 3,69 para o ensaio 12 e máxima de 39,59 para o ensaio 04. Esses

resultados são perceptíveis na Figura 3, a qual apresenta o aspecto visual dos grãos de feijão carioca controle (C) e processados.



Figura 3 Aspecto visual dos grãos de feijão carioca, controle e processados, após a realização dos 15 ensaios do planejamento Plackett & Burman 15.

Nas condições de pré-processamento que resultaram em maior diferença de cor (ensaios 04, 05 e 06), verificou-se escurecimento dos grãos. As condições dos ensaios 08, 11 e 12 resultaram em grãos com tonalidades mais claras, quando comparados ao controle (Figura 3).

Observou-se que, para as respostas avaliadas, os valores apresentados pelos ensaios na condição de ponto central (ensaios 13, 14 e 15) apresentaram pequenas variações, indicando uma boa repetibilidade para o processo.

5.2.1 Análise dos efeitos das condições de processo sobre o tempo de cozimento

A análise dos efeitos lineares das condições de processamento sobre o tempo de cozimento foi realizada ao nível de 10% de significância. Na Tabela 9 são apresentados os valores dos efeitos lineares dos fatores desvio padrão, teste t, p-valor e intervalos de

confiança. Observou-se que, para a variável resposta tempo de cozimento, ocorreram efeitos significativos para os fatores tempo de maceração, concentração de bicarbonato de sódio, concentração de carbonato de sódio e concentração de ácido cítrico.

Para a melhor visualização dos resultados é apresentada, na Figura 4, a estimativa dos efeitos lineares com o desvio padrão. Observa-se que os fatores tempo de maceração, concentração de bicarbonato de sódio e concentração de carbonato de sódio contribuem para a redução do tempo de cozimento do feijão. O fator concentração de ácido cítrico contribui para o aumento da resposta avaliada após o processamento, ou seja, um efeito contrário ao objetivo do processo, que é a redução no tempo de cozimento do produto final. Os demais fatores do planejamento Plakett & Burman não apresentaram efeitos significativos sobre a variável resposta tempo de cozimento.

Tabela 9 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão carioca processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (7)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Média	9,53	0,441	21,58	0,000	8,69	10,37
Tempo de maceração	-10,17*	0,987	-10,29	0,000	-12,03	-8,29
Concentração de NaHCO ₃ na maceração	-3,5*	0,987	-3,54	0,009	-5,37	-1,62
Concentração de KHCO ₃ na maceração	-1,5	0,987	-1,51	0,172	-3,37	0,37
Concentração de Na ₂ CO ₃ na maceração	-4,5*	0,987	-4,55	0,002	-6,37	-2,62
Concentração de K ₂ CO ₃ na maceração	-1,83	0,987	-1,86	0,105	-3,70	0,03
Concentração de KCl na maceração	0,83	0,987	-0,84	0,426	-2,70	1,03
Concentração de C ₆ H ₈ O ₇ na maceração	2,5*	0,987	2,53	0,039	0,62	4,37

Nota: * Coeficientes estaticamente significativos (P<0,10).

O fator tempo de maceração apresentou efeito negativo e significativo, sendo o efeito mais expressivo, indicando que, com o aumento do nível deste fator, é possível obter menores tempos de cozimento para o produto processado. Schoeninger et al. (2014), ao avaliarem o tempo de cozimento de grãos de feijão, em diferentes períodos de maceração, utilizando soluções contendo cloreto de sódio e bicarbonato de sódio, observaram redução de 6% no tempo de cozimento dos grãos, quando o tempo de maceração foi alterado de quatro para 16 horas. Ainda, Urga et al. (2006), estudando o tempo de cozimento de ervilhas submetidas a diferentes períodos de maceração, utilizando soluções contendo um mix de sais (1,5% bicarbonato de sódio, 0,5% carbonato de sódio e 0,75% ácido cítrico), verificaram que a partir de 12 horas ocorreu uma redução de 46% no tempo de cozimento do produto.

Em relação à adição de bicarbonato de sódio no processo de maceração dos grãos, houve efeito negativo e significativo no tempo de cozimento (Figura 4), indicando que, com o

aumento do nível deste fator, é possível obter menores tempos de cozimento para o produto processado. Os resultados obtidos neste trabalho, em relação ao efeito dos sais, estão em concordância com os relatados em outras pesquisas. Paredes-López et al. (1991) relataram que a adição dos sais, cloreto de sódio e bicarbonato de sódio na maceração resultou em tempos de cozimento mais baixos em grãos de feijão comum envelhecidos. Para a variedade Canário, observaram a redução de 149 para 73 minutos, após a maceração por 12 horas em solução contendo ambos os sais, e de 149 para 57 minutos para os grãos que foram macerados em solução contendo apenas o NaHCO_3 . Schoeninger et al. (2016), ao estudarem a adição de NaHCO_3 na água de hidratação de quatro cultivares de feijão, verificaram redução no tempo de cozimento do feijão quando utilizada a concentração de 3% de bicarbonato de sódio.

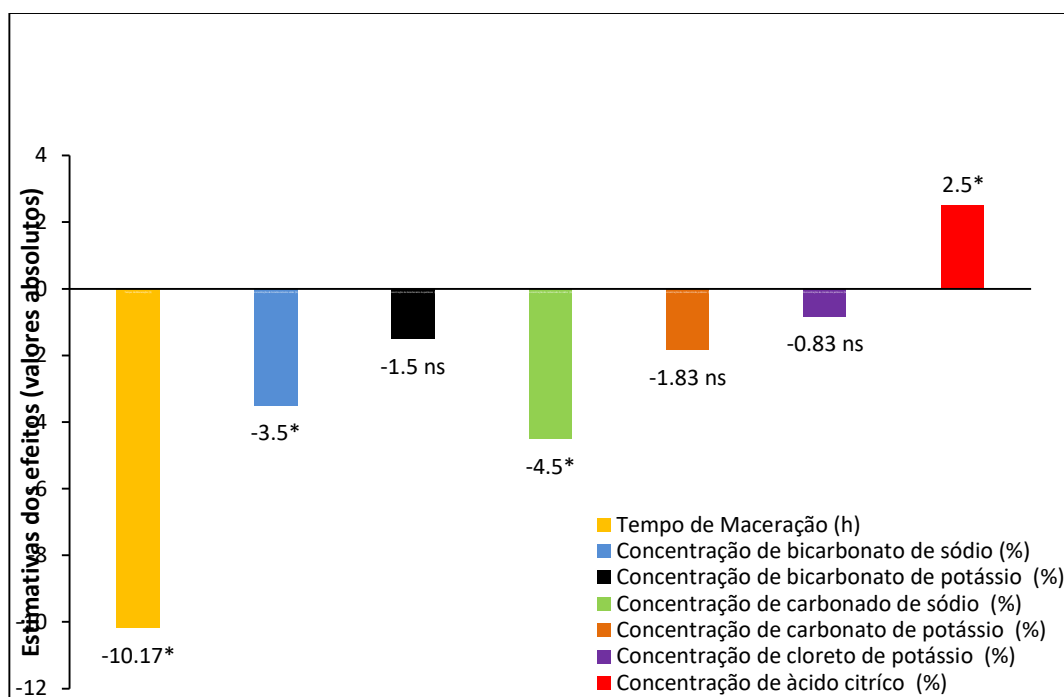


Figura 4 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre o tempo de cozimento do produto após o processamento.

Notas: * - significativo ao nível de 10% de significância; ns - não significativo.

Ávila et al. (2015) também observaram este efeito para o mesmo sal na redução do tempo de cozimento de feijão envelhecido. Os autores verificaram que, para o feijão Caupi, ocorreu diminuição nesse parâmetro com a adição do NaHCO_3 na solução de maceração (14 minutos na solução de 0% para 2 minutos para a solução de 2,5%). Ainda, Schoeninger et al. (2014), estudando a adição de sais no processo de maceração de grãos de feijão carioca, observaram que a adição de 4,5% de bicarbonato de sódio levou à redução de 43% do tempo de cozimento dos grãos.

A concentração de Na_2CO_3 na solução de maceração apresentou efeito negativo e significativo, ou seja, com o aumento do nível deste fator, é possível obter menores tempos de cozimento para o produto processado. Kinyanjui et al. (2013) avaliaram a adição de

diferentes soluções na água de hidratação de grãos de feijão e observaram que a adição de Na_2CO_3 diminui significativamente o tempo de cozimento dos grãos.

Wacu et al. (2015) relataram que a adição de carbonato de sódio na maceração de grãos de feijão envelhecidos das cultivares Rose coco e Red Kidney reduziu o tempo de cozimento em 75% para o Rose coco e 70% para Red Kidney. Resultados semelhantes foram encontrados por Buzera et al. (2018), que, ao estudarem duas variedades de feijão biofortificados (HM21-7 e Namulenga), verificaram que a adição de carbonato de sódio na maceração por 16 horas reduziu o tempo de cocção dos grãos.

O fator concentração de ácido cítrico apresentou efeito positivo e significativo no tempo de cozimento dos grãos processados (Figura 4), indicando que, com o aumento do nível deste fator, aumenta-se o tempo de cozimento dos grãos após o processamento. Urga et al. (2006), com o objetivo de processar ervilhas (*Lathyrus Sativus*) de cozimento rápido, utilizaram a maceração em soluções contendo bicarbonato de sódio, ácido cítrico e cinzas de madeira. Os pesquisadores verificaram que ocorre redução significativa no tempo de cozimento quando são utilizadas estas soluções na maceração. O mesmo não ocorreu no presente trabalho, pois quando utilizado o ácido cítrico ocorreu acréscimo no tempo de preparo dos grãos.

Esse fato pode estar relacionado a presença de fatores antinutricionais no grão, que podem apresentar aumento em seus teores quando utilizado ácido cítrico, como consequência diminuindo a permeabilidade do grão, logo aumentando o tempo necessário para o preparo do produto. Vidal-Valverde et al. (1994) estudaram o efeito do processamento de lentilhas (*Lens culinaris*) sobre os fatores antinutricionais. Após a maceração das sementes em três condições: água destilada, 0,1% de ácido cítrico em pH 4,95 e 0,07% de bicarbonato de sódio em pH 7,85; houve aumento da concentração de taninos, sendo que a maceração em solução ácida resultou em maior concentração desses compostos.

5.2.2 Análise dos efeitos das condições de processo sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD)

A análise dos efeitos lineares das condições de processamento sobre a porcentagem de grãos danificados em feijão carioca é apresentada na Tabela 10.

Observou-se para esta resposta que os fatores concentração de carbonato de sódio e concentração de carbonato de potássio foram estatisticamente significativos ao nível adotado ($p < 0,10$) (Tabela 10).

Tabela 10 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta porcentagem de grãos danificados dos grãos de feijão carioca processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (7)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Média	1,59	0,108	14,76	0,000	1,39	1,80
Tempo de maceração	0,36	0,241	1,48	0,179	-0,09	0,81
Concentração de NaHCO_3 na maceração	-0,38	0,241	-1,59	0,153	-0,84	0,07
Concentração de KHCO_3 na maceração	-0,10	0,241	-0,44	0,672	-0,56	0,35
Concentração de Na_2CO_3 na maceração	-0,48*	0,241	-1,98	0,087	-0,93	-0,02
Concentração de K_2CO_3 na maceração	-0,46*	0,241	-1,91	0,096	-0,92	-0,00
Concentração de KCl na maceração	-0,18	0,241	-0,77	0,465	-0,64	0,27
Concentração de $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ na maceração	0,22	0,241	0,93	0,379	-0,23	0,68

Nota: * Coeficientes estaticamente significativos ($P < 0,10$).

Na Figura 5 apresenta-se a estimativa dos efeitos lineares com o desvio padrão sobre a porcentagem de grãos danificados após o processamento. Observa-se que, com exceção do tempo de maceração, os demais fatores avaliados no planejamento Plackett & Burman contribuem para um menor nível de dano do produto processado, com destaque para a concentração de carbonato de sódio e concentração de carbonato de potássio, que apresentaram os maiores efeitos negativos, ou seja, contribuíram para um menor índice de danos após o processo, quando comparado aos demais.

Os resultados encontrados para a porcentagem de grãos danificados são opostos aos obtidos por Schoeninger et al. (2014), que, estudando a adição de bicarbonato de sódio na maceração de grãos de feijão, verificaram que quando se altera a concentração de 0 para 4,5%, o nível de dano no produto aumenta em 3,64%. Segundo os mesmos autores, quanto maiores os períodos de molho, menor é a porcentagem de grãos danificados.

O menor índice de danos no produto pode estar relacionado com a qualidade dos grãos. Pan et al. (2010) sugerem que o índice de dano, após as etapas que envolvem o processamento do feijão desidratado (branqueamento, maceração, cozimento e secagem), pode estar relacionado com a qualidade da matéria-prima utilizada. Os mesmos autores sugerem que os grãos podem ser classificados antes de receberem o processamento, por meio de métodos como a detecção de impacto acústico e a separação por densidade, assim permitindo a utilização somente dos grãos com menor probabilidade de apresentarem danos após o processo.

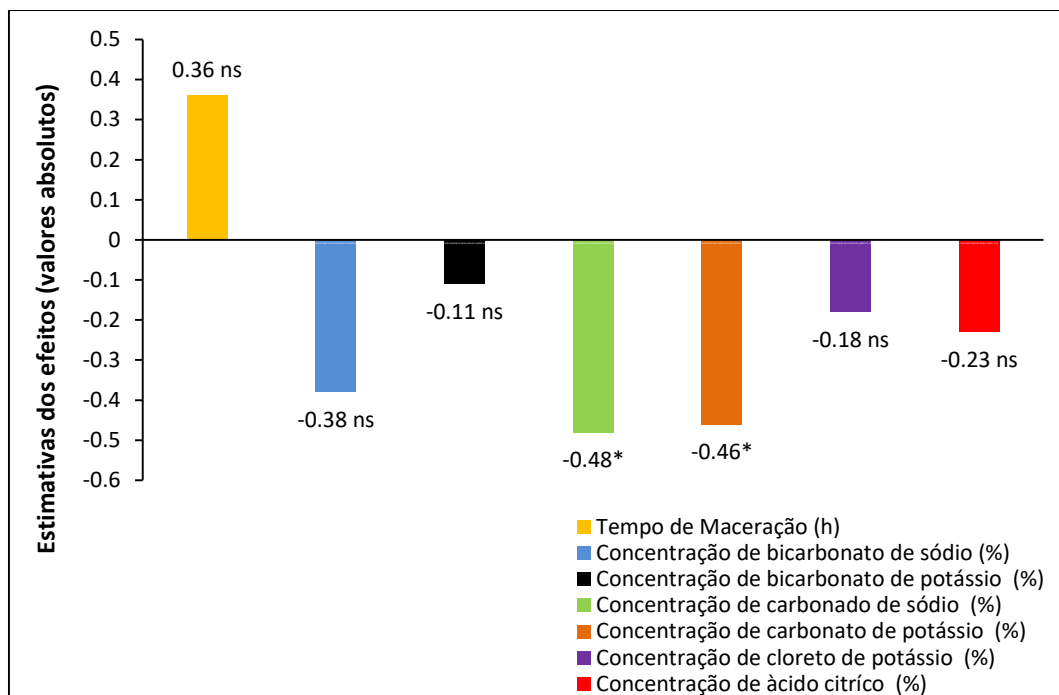


Figura 5 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento.

Nota: * - significativo ao nível de 10% de significância; ns - não significativo.

Outro fator que pode contribuir para a menor porcentagem de grãos danificados é a temperatura de secagem utilizada (50 °C). De acordo com Cai e Chand (1997), o processo de secagem, além de apresentar efeito direto na umidade final do feijão desidratado, influencia a quantidade de defeitos no produto. Zhao e Chang (2008) afirmam que a separação entre os cotilédones e as fissuras no tegumento do feijão está relacionada, principalmente, com as interações entre as pressões de vapor presentes no grão e no ar de secagem.

Victoria et al. (2010), analisando o efeito da temperatura de secagem em grãos de arroz após o processo de parboilização, verificaram que em menores temperaturas ocorre redução na porcentagem de grãos danificados. Schoeninger et al. (2014) observaram que a condição de processo que minimiza o dano em grãos de feijão é dada por temperaturas de secagem próximas de 55 °C.

Neste sentido, visando obter um produto de qualidade e com maior aceitação por parte dos consumidores, além de reduzir o tempo de preparo dos grãos de feijão, deve-se priorizar a redução do nível de danos causados pelo processo.

5.2.3 Análise dos efeitos das condições de processo sobre a Hidratação

A análise dos efeitos principais das condições de processamento sobre a hidratação dos grãos de feijão carioca após o processamento é apresentada na Tabela 11. Verificou-se que dentre todos os fatores considerados no processamento, apenas a concentração de carbonato de sódio foi significativa, ao nível de significância adotado ($p < 0,10$).

Tabela 11 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta hidratação de feijão carioca processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (7)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Média	91,21	0,995	91,58	0,000	89,32	93,10
Tempo de maceração	-3,53	2,227	-1,58	0,156	-7,75	0,68
Concentração de NaHCO_3 na maceração	-3,54	2,227	-1,59	0,155	-7,76	0,67
Concentração de KHCO_3 na maceração	0,34	2,227	0,15	0,880	-3,87	4,56
Concentração de Na_2CO_3 na maceração	-5,12*	2,227	-2,30	0,054	-9,34	-0,90
Concentração de K_2CO_3 na maceração	-0,86	2,227	-0,38	0,708	-5,08	3,35
Concentração de KCl na maceração	-2,07	2,227	-0,93	0,382	-6,29	2,14
Concentração de $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ na maceração	-2,51	2,227	1,12	0,259	-1,70	6,73

Nota: *Coeficientes estaticamente significativos ($P < 0,10$).

Na Figura 6 apresenta-se a estimativa dos efeitos lineares com o desvio padrão para a hidratação dos grãos de feijão após o processamento. Observa-se que, com exceção do fator concentração de bicarbonato de potássio, os demais fatores avaliados no planejamento Plackett & Burman apresentaram efeito de decréscimo na resposta avaliada. Apenas o carbonado de sódio apresentou efeito significativo, ou seja, contribuiu para menor hidratação dos grãos após o processo.

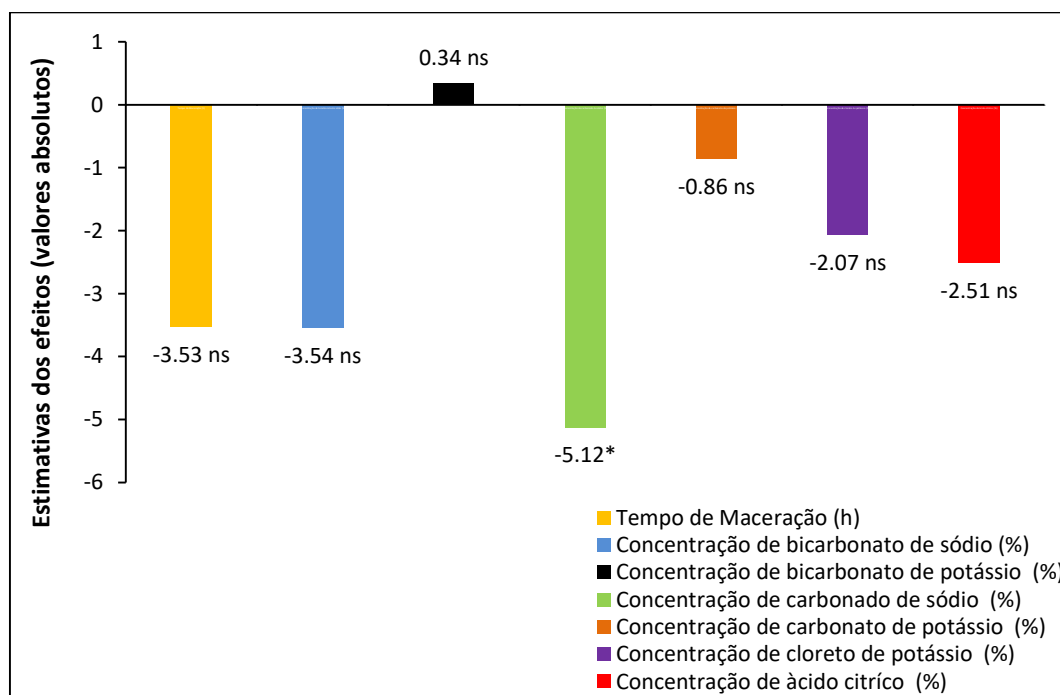


Figura 6 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a hidratação dos grãos após o processamento.

Nota: * - significativo ao nível de 10% de significância; ns - não significativo.

O fator concentração de carbonato de sódio apresentou efeito negativo e significativo sobre a variável resposta hidratação, ou seja, com o aumento do nível deste fator, diminui-se a hidratação dos grãos após o processamento. Buzera et al. (2018) observaram que a adição de carbonato de sódio na maceração de duas diferentes variedades de feijão diminui a capacidade de hidratação dos grãos, mas não teve relação com o fator tempo de cozimento, uma vez que a utilização de Na_2CO_3 apresentou redução significativa no tempo de preparo dos grãos.

Apesar do fator concentração de carbonato de sódio diminuir significativamente a hidratação dos grãos após o processamento, os valores encontrados no presente estudo para a hidratação dos grãos são considerados elevados. Bordin et al. (2010) verificaram o efeito da capacidade de hidratação prévia à cocção em 22 genótipos de feijão (18 crioulos e 4 comerciais) e encontraram alta capacidade de hidratação com valores acima de 70%. Zamindar et al. (2011) observaram em oito linhagens de feijão comum, do grupo vermelho, variações de 55,90 a 88,60% de absorção de água.

A maior capacidade de absorção de água pelos grãos de feijão tem sido relacionada, de forma direta, ao menor tempo de cocção. A literatura tem apontado para a relação entre o percentual de absorção de água e o tempo de cocção com uma média para absorção de água pelo grão superior a 80%, associado a uma rápida cocção (RODRIGUES et al., 2005; SCHOENINGER et al., 2014; SILHOCHI et al., 2016). Porém, essa relação direta é encontrada apenas por alguns autores, na medida em que não é regra, porque nem sempre a maior capacidade de hidratação dos grãos é um indicativo de menor tempo de cocção (CORTE et al., 2003).

Durigan et al. (1978) verificaram que não há relação entre a capacidade de hidratação com o tempo de cozimento, sugerindo que a mesma cultivar de feijão pode apresentar péssimas características de hidratação, mas ótimo comportamento quanto ao seu cozimento e vice-versa. Resultados parecido foram registrados por Carbonell et al. (2003), que observaram que genótipos com maior porcentagem de absorção de água não foram os que apresentaram menor tempo de cocção.

Assim, fica evidente que os padrões de absorção de água pelos grãos são dependentes das características de cada cultivar. Logo, a utilização de cloreto de sódio no processo de maceração, independente de diminuir a capacidade de hidratação dos grãos, pode ser uma alternativa viável para a indústria de processamento por contribuir na redução do tempo de preparo do produto.

5.2.4 Análise dos efeitos das condições de processo sobre os sólidos totais no caldo de cozimento

A análise dos efeitos principais das condições de processamento sobre a porcentagem de sólidos totais no caldo de cozimento dos grãos de feijão carioca após o processo é

apresentada na Tabela 12. Verificou-se para esta resposta que apenas o fator concentração de cloreto de potássio foi estatisticamente significativo ($p < 0,10$).

Tabela 12 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta hidratação de feijão carioca processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (7)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Média	1,80	0,103	17,37	0,000	1,60	1,99
Tempo de maceração	0,21	0,231	0,913	0,391	-0,22	0,65
Concentração de NaHCO_3 na maceração	-0,11	0,231	-0,510	0,625	-0,55	0,32
Concentração de KHCO_3 na maceração	0,02	0,231	0,093	0,928	-0,41	0,46
Concentração de Na_2CO_3 na maceração	-0,08	0,231	-0,381	0,714	-0,52	0,35
Concentração de K_2CO_3 na maceração	-0,23	0,231	-1,013	0,344	-0,67	0,20
Concentração de KCl na maceração	-0,46*	0,231	-2,006	0,084	-0,90	-0,02
Concentração de $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ na maceração	-0,06	0,231	-0,266	0,797	-0,50	0,37

Nota: * Coeficientes estaticamente significativos ($P < 0,10$).

Na Figura 7 apresentam-se as estimativas dos efeitos para a porcentagem de sólidos totais no caldo de cocção dos grãos de feijão processados. Observa-se que, com exceção dos fatores tempo de maceração e concentração de bicarbonato de potássio, os demais apresentaram efeito negativo, ou seja, contribuem para um caldo com menor quantidade de sólidos totais.

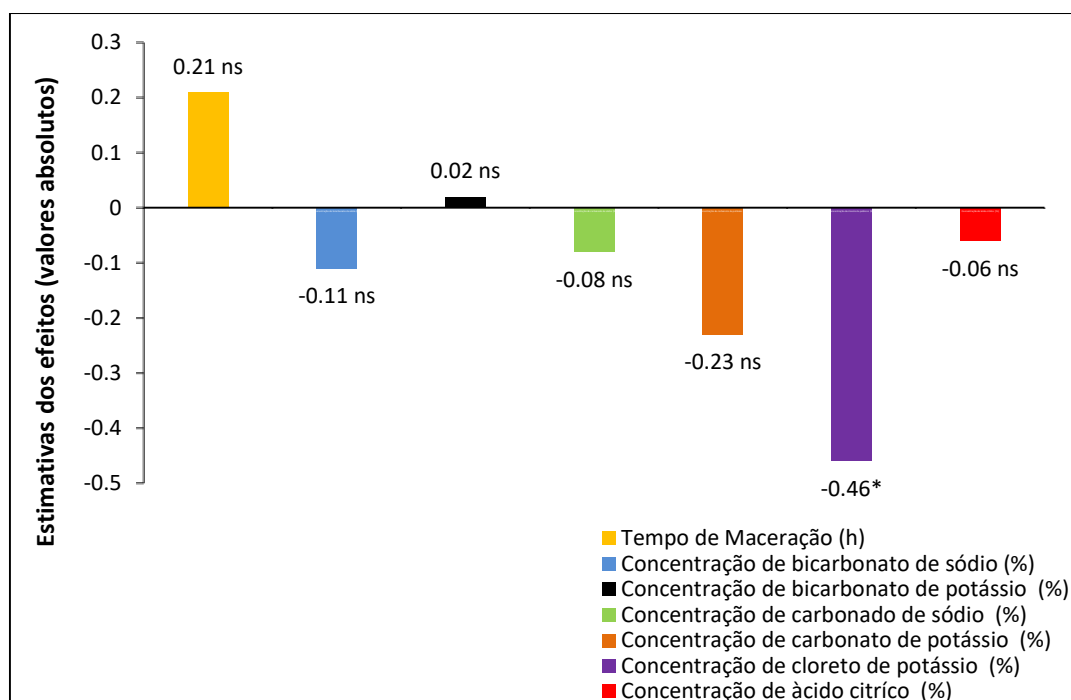


Figura 7 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a porcentagem de sólidos totais no caldo de cozimento dos grãos após o processamento.

Nota: * - significativo ao nível de 10% de significância; ns - não significativo.

O fator concentração de cloreto de potássio apresentou efeito negativo e significativo, ou seja, contribui para a produção de um caldo menos espesso. Os valores encontrados para a porcentagem de sólidos totais no caldo de cozimento estão abaixo dos registrados por outros estudos (PERINA et al., 2010; HAMID et al., 2016; SCHOENINGER et al. 2016; WANI et al., 2017).

A menor quantidade de sólidos totais no caldo de cozimento pode estar correlacionada com as variáveis tempo de cozimento e porcentagem de grãos danificados após o processo. Perina et al. (2010), ao avaliarem genótipos cultivados em três épocas distintas, verificaram que, quando o tempo de cozimento foi menor e a porcentagem de grãos inteiros foi maior, o teor de sólidos no caldo de cozimento foi menor. Quando o tempo de cozimento foi superior, os autores verificaram maior teor de sólidos no caldo de cozimento, devido à maior presença de grãos partidos, o que permitiu a liberação de sólidos para o caldo de cozimento. Resultados semelhantes foram observados por Schoeninger et al. (2016), quando, avaliando diferentes cultivares de feijão preto submetidas ao processamento industrial, verificou que cultivares com menores índices de grãos trincados e explodidos, o índice de sólidos totais no caldo do produto era reduzido.

O fato de os grãos permanecerem tempo prolongado no processo de hidratação pode causar perdas significativas de proteínas solúveis e sólidos totais na água de hidratação não absorvida pelos grãos, tendo em vista que, por vezes, a água de maceração é descartada. Logo, quando passam pelo processo de cocção geram um caldo com menores quantidades de sólidos totais (ROMANO et al., 2005).

Ainda, segundo Carneiro et al. (1999), devido à variabilidade genética, observa-se que, de modo geral, feijões do grupo carioca necessitam de maior tempo para a cocção, apresentando maior porcentagem de casca e menor porcentagem de sólido totais que os do grupo preto. Desta forma, é possível inferir que o fator concentração de cloreto de potássio utilizado no processamento do feijão carioca diminui a perda de sólidos para o caldo de cozimento dos grãos, não sendo indicado para o processamento dos grãos pois a diminuição da concentração de sólidos totais no caldo torna-o menos espesso, sendo assim menos aceitável pelo consumidor.

5.2.5 Análise dos efeitos das condições de processo sobre a diferença de cor (ΔE^*) dos grãos processados em relação ao controle

A análise dos efeitos principais das condições de processamento sobre a diferença de cor dos grãos de feijão processados, em relação ao controle, é apresentada na Tabela 13. Verificou-se que, para a variável resposta diferença de cor, ocorreram efeitos significativos para os fatores tempo de maceração, concentração de bicarbonato de sódio, concentração de carbonato de sódio e concentração de ácido cítrico ($P < 0,10$).

Tabela 13 Efeitos principais do planejamento Plackett & Burman 15 para a resposta diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão carioca processados, em relação ao controle

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (7)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Média	19,16	1,231	15,5	0,000	16,83	21,49
Tempo de maceração	18,96*	2,753	6,88	0,000	13,75	24,18
Concentração de NaHCO_3 na maceração	8,15*	2,753	2,96	0,021	2,94	13,37
Concentração de KHCO_3 na maceração	2,84	2,753	1,03	0,335	-2,37	8,06
Concentração de Na_2CO_3 na maceração	8,10*	2,753	2,94	0,021	2,88	13,31
Concentração de K_2CO_3 na maceração	2,02	2,753	0,73	0,485	-3,19	7,24
Concentração de KCl na maceração	3,51	2,753	1,27	0,242	- 1,69	8,73
Concentração de $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ na maceração	-6,66*	2,753	-2,42	0,045	- 11,88	- 1,45

Nota: * Coeficientes estaticamente significativos ($P < 0,10$).

Para a melhor visualização dos resultados é apresentada, na Figura 8, a estimativa dos efeitos lineares com o desvio padrão para a diferença de cor dos grãos de feijão processados. Observa-se que, com exceção do fator concentração de ácido cítrico, os demais fatores apresentam efeito de acréscimo na resposta avaliada, ou seja, contribuem para o aumento da diferença de cor em relação aos grãos não processados.

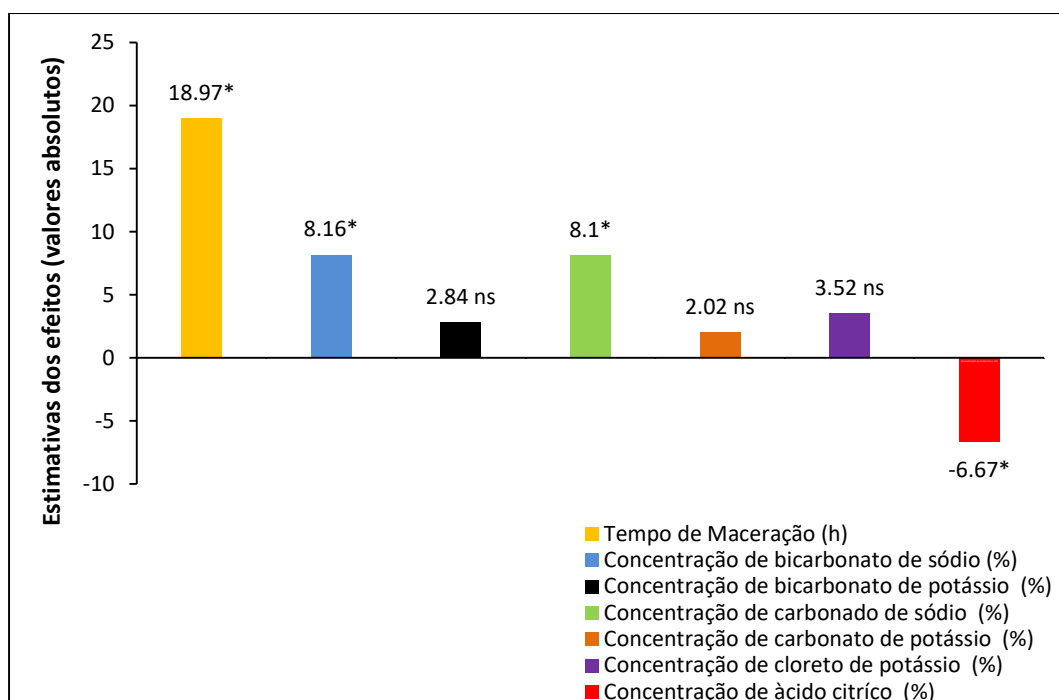


Figura 8 Estimativa dos efeitos lineares com erro padrão dos fatores avaliados sobre a diferença de cor (ΔE^*) dos grãos processados em relação ao controle.

Nota: * - significativo ao nível de 10% de significância; ns - não significativo.

O tempo de maceração, assim como a concentração de bicarbonato de sódio e carbonato de sódio apresentaram efeito positivo e significativo, indicando que, com o aumento do nível destes fatores, aumenta-se a diferença de cor dos grãos processados em relação aos grãos considerados controle. A concentração de ácido cítrico apresentou efeito negativo e significativo, indicando que, com o aumento do nível deste fator, é possível obter menor diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle.

No estudo de Schoeninger et al. (2014), foi verificado que o aumento da concentração de NaHCO_3 e NaCl utilizados no processo de maceração de grãos de feijão carioca causou escurecimento no tegumento dos grãos. Ainda, segundo os mesmos autores, o tempo de maceração dos grãos influenciou significativamente na diferença de cor dos grãos, sendo que maiores tempos resultaram em grãos com maior diferença de cor em relação ao controle. Esses resultados corroboram com Berrios et al. (2004), que verificaram que o aumento da concentração de NaHCO_3 utilizado também no processo de maceração de grãos de feijão preto gerou diminuição da luminosidade e aumento do ângulo de coloração, ou seja, o produto apresentou tonalidades mais intensas.

Buzera et al. (2018), utilizando carbonato de sódio no processo de maceração de grãos de feijão biofortificados, verificaram que os feijões embebidos em Na_2CO_3 eram mais escuros em comparação com os outros embebidos apenas em água. Kinyanjui et al. (2016) também relataram escurecimento dos grãos de feijão embebidos em concentrações de carbonato de sódio. Segundo Ogwal e Davis (1994), as sementes secas embebidas em Na_2CO_3 e NaHCO_3 fazem com que a cor desbote e produza sabores indesejáveis nos grãos.

A alteração de coloração no tegumento dos grãos pode ser explicada por vários mecanismos envolvidos durante a imersão do feijão na solução salina. Entre eles, a interação iônica, na qual o Na^+ tende a migrar para o feijão, enquanto o Mg^{2+} e o K^+ tendem a deixar o feijão (DE LEON et al., 1992).

A cor, o aroma, a textura e o valor nutritivo dos alimentos determinam sua aquisição e seu consumo, pois influenciam a preferência do consumidor. Dentre estes, destaca-se a cor por sua importância na avaliação sensorial do consumidor. As medidas de diferença de cor são importantes em processos da indústria de alimentos para verificar quais as alterações ocorridas, após os tratamentos aos quais o produto foi submetido (BARRETT, et al., 2010; BERRIOS et al., 2004).

De acordo com esses resultados foi definida a segunda etapa da pesquisa. Nessa etapa, para o processamento dos grãos de feijão carioca, selecionou-se o fator tempo de maceração, que, apesar de contribuir significativamente para a diferença de cor dos grãos processado em relação ao controle, contribui para a redução do tempo de cozimento.

Também foi selecionado o fator concentração de carbonato de sódio na maceração, devido ao expressivo potencial de redução no tempo de cozimento dos grãos e da porcentagem de grãos danificados após o processamento, existindo a necessidade de se verificar em quais níveis desse fator podem ser obtidos menores efeitos nas demais respostas avaliadas.

Por fim, selecionou-se o fator concentração de carbonato de potássio, que, entre os fatores que não apresentam efeitos significativos, para a variável resposta tempo de cozimento, foi o que apresentou p-value mais próximo do nível de significância adotado ($P < 0,10$), e para a variável resposta diferença de cor foi o que apresentou p-value menos significativo, também diminuindo significativamente o nível de dano do produto.

Apesar do fator concentração de bicarbonato de potássio apresentar efeito significativo na redução do tempo de cozimento dos grãos, esse fator não foi selecionado devido a estudos anteriores que afirmam que a utilização deste sal no processo de maceração, em concentrações próximas às utilizadas no presente estudo, causam alterações indesejadas no produto (SCHOENINGER, 2014).

5.3 Caracterização inicial do produto para o planejamento DCC

Na Tabela 14 são apresentadas as características iniciais dos grãos de feijão não processados, considerados controle. O produto apresentou teor de água médio inicial de 12,85 % e tempo de cozimento dos grãos igual a 56 minutos.

Tabela 14 Caracterização da qualidade dos grãos não processados (controle)

Análise	Valor médio*
Teor de água (%)	12,85
Tempo de cozimento (minutos)	56
Capacidade de absorção de água antes do cozimento (%)	91,25
Textura	112,07
Luminosidade	44,28
a*	19,15
b*	20,76
Cromaticidade	28,25
Ângulo de coloração (°)	47,28

Nota: * Média de triplicata para cada análise.

O elevado tempo de cozimento dos grãos pode estar associado ao desenvolvimento do fenômeno conhecido como Hard-to-cook (HTC), resultante de um armazenamento dos grãos em condições inadequadas. O período de armazenamento provoca mudanças fisiológicas, principalmente nos cotilédonos. Um dos principais efeitos destas alterações é o hard-to-cook – HTC, resultado de mudanças físicas e químicas que ocorrem nos cotilédonos e a níveis intercelulares, durante o armazenamento (RIBEIRO et al., 2005).

Coelho et al. (2009), em pesquisa realizada com cultivares de feijão carioca e preto, observaram tempo de cozimento consideravelmente maior em feijões com maior tempo de armazenamento, reduzindo a qualidade dos grãos, sendo que os grãos da variedade carioca foram mais susceptíveis ao fenômeno HTC e ao endurecimento dos grãos do que o feijão preto. Aumento no tempo de cocção também foi observado por Ferreira et al. (2017), no armazenamento de grãos de feijão.

Os grãos apresentam capacidade de absorção de água antes do cozimento igual a 91,25. Apesar da maior capacidade de absorção de água pelos grãos de feijão ser relacionada, de forma direta, ao menor tempo de cocção, grãos que apresentam o defeito hard-to-cook, mesmo que absorvam água durante o período de hidratação, não apresentam amolecimento dos cotilédones durante a cocção, necessitando de maior tempo para seu preparo (BERTOLDO et al., 2009).

Para textura dos grãos foi observado o valor médio de 112,07. A textura dos grãos pode ser influenciada por diversos fatores como a variedade, local de crescimento, local de estocagem, assim como a composição química dos grãos (REYES-MORENO; PAREDES-LÓPES, 1993). Kaur e Singh (2007) verificaram que feijões com HTC apresentam aumento dos parâmetros texturométricos de dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade e mastigabilidade, comparados a feijões sem o mesmo defeito. Ainda, segundo Coelho et al.

(2009), os grãos com HTC apresentam perda de valor nutritivo provocado pelo maior tempo de cocção requerida, para obtenção da textura desejada.

Em relação aos parâmetros de cor, observou-se para a luminosidade, parâmetro que pode variar entre 0 e 100, o valor de 44,28, indicando um possível escurecimento do produto, em relação aos grãos utilizados na etapa 1 (Tabela 7), uma vez que valores maiores de luminosidade indicam grãos com tonalidade mais claras e valores menores representam tegumento mais escurecido. Este fato pode estar relacionado ao armazenamento inadequado dos grãos de feijão, o que altera significativamente a luminosidade, ocorrendo diminuição ao longo do período e implicando em menor aceitação do produto por parte do consumidor (PARREDES-LÓPES et al., 1991; RIOS et al., 2003; COELHO et al., 2009).

O ângulo de coloração apresentou o valor de 47,28° (Tabela 14), ou seja, a cor está localizada no primeiro quadrante e, visualmente, é percebida como um tom resultante da mistura de cores vermelho e amarelo, representando para a amostra a cor marrom claro. O parâmetro cromaticidade indica a intensidade ou pureza do tom, independente de quão clara ou escura é a cor, que, neste caso, apresentou valor de 28,25, indicando cor acinzentada, uma vez que quanto maior é o seu valor, a cor é mais intensa ou altamente cromática parecendo luminosa ou concentrada, enquanto que valores baixos (acromático), como o observado, indicam cor acinzentada, fraca ou diluída (GRANATO; MASSON, 2010).

5.4 Resultados relativos ao planejamento DCC

Na Tabela 15 são apresentados os resultados para os dois planejamentos sobre os parâmetros tempo de cozimento, porcentagem de grãos danificados, hidratação, textura e diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle. Estes parâmetros foram definidos pelo planejamento delineamento composto central, que avaliou os fatores: tempo (h) e concentração de Na_2CO_3 (%) (planejamento 1), e tempo (h) e concentração de K_2CO_3 (%) (planejamento 2).

Tabela 15 Valores do tempo de cozimento (minutos), alteração no tempo de cozimento em relação ao controle (ATC), porcentagem de grãos danificados (PGD), textura (N.grão^{-1}), porcentagem de hidratação e diferença de cor (Δe) dos grãos processados em relação ao controle

Ensaio	Tempo de cozimento*/ (ATC%)	PGD	Textura*	Hidratação*	Diferença de cor* (Δe)
Planejamento 01 (carbonato de sódio)					
01	53 (5,35)	16.14	98.93	92.79	4.92
02	55 (1,78)	12.23	96.26	91.78	5.28
03	1 (98,21)	28.7	31.27	80.62	25.56
04	1 (98,21)	23.85	17.64	88.55	29.82
05	2 (96,42)	29.39	33.79	82.5	24.65
06	2 (96,42)	30.88	35.24	82.41	24.79
07	2 (96,42)	30.65	37.03	81.31	24.08

Continua...

Continuação					
Planejamento 02 (carbonato de potássio)					
01	53 (5,35)	16.8	96.01	93.63	5.64
02	55 (1,78)	13.03	95.35	92.81	5.68
03	3 (94,64)	26.91	26.62	81.08	24.02
04	2 (96,42)	28.73	32.88	81.45	25.59
05	7 (87,5)	21.26	62.45	82.8	19.47
06	8 (85,71)	21.74	59.7	81.38	18.96
07	8 (85,71)	22.92	57.71	82.44	19.94

Nota: * Média de triplicata para cada análise.

O tempo de cozimento apresentou média geral igual a 16,57 minutos para o planejamento 01, com variações entre 1 (ensaios 03 e 04) e 55 minutos (ensaio 02). Para o planejamento 02 observou-se média geral igual a 19,42 minutos, e foram verificadas variações no tempo de cozimento de 2 a 55 minutos, para os ensaios 04 e 02, respectivamente. Em ambos os planejamentos na condição do ensaio em que se utilizou a concentração de 3,0% na solução de maceração, quando comparado ao ensaio em que a concentração foi igual a 0,0%, observa-se o efeito da adição dos sais na redução do tempo de cozimento dos grãos processados. Conforme os resultados obtidos, é possível afirmar que o fator concentração de carbonato de potássio, apesar de não ter apresentado efeito significativo no planejamento Plackett & Burman, apresenta efeito de redução no tempo de cozimento dos grãos

A porcentagem de grãos danificados após o processo apresentou média geral de 24,54% para o planejamento 01, com variação de 12,23% a 30,88%, nas condições dos ensaios 02 e 06, respectivamente. O planejamento 02 apresentou média geral igual a 21,62%, com variações de 13,03% (ensaio 02) a 28,73% (ensaio 04). Nota-se que, em ambos os planejamentos, os ensaios que contribuíram para a redução do tempo de cozimento aumentaram o nível de dano do produto.

Com relação à textura dos grãos após o processamento, observou-se média geral igual a 50,02 N para o planejamento 01, com variações de 17,64 N a 98,93 N para os ensaios 04 e 01, respectivamente. Para o planejamento 02 observou-se média geral de 61,53 N, com variações entre 26,62 N (ensaio 03) e 96,01 (ensaio 01). Observa-se que para os dois planejamentos as condições que utilizaram a concentração de 3,0% na solução de maceração, em relação aos ensaios em que a concentração foi igual a 0,0%, resultaram em grãos com menor resistência a penetração, diminuindo significativamente o tempo de cocção do produto.

A porcentagem de hidratação dos grãos após o processamento apresentou média geral de 85,70% para o planejamento 01, com variação entre 80,62 e 92,79% para os ensaios 03 e 01, respectivamente. O planejamento 02 apresentou média geral igual a 85,08% para a hidratação dos grãos processados, com variação de 81,03% (ensaio 03) a 93,63% (ensaio

01). A absorção de água pelos grãos é de suma importância no processamento do feijão, a fim de promover maciez e reduzir o tempo de preparação do produto.

Para a diferença de cor (ΔE) dos grãos processados em relação ao controle, verificou-se média geral de 19,87 para o planejamento 01, com variações de 4,29 (ensaio 01) a 29,82 (ensaio 04). Para o planejamento 02 observou-se média geral de 17,04, com variações entre 5,64 e 25,59 para os ensaios 01 e 04, respectivamente. Nos dois planejamentos é possível verificar o efeito da adição dos sais no processo de maceração sobre a variável resposta diferença de cor. Nas condições de processamento em que houve maiores concentrações foi observado maior diferença de cor, causando escurecimento dos grãos.

Na Figura 9 apresenta-se o aspecto visual dos grãos para os dois planejamentos (S – planejamento 01, P – planejamento 02) após o processamento, permitindo a visualização das diferenças entre as amostras submetidas aos tratamentos e o controle (C).

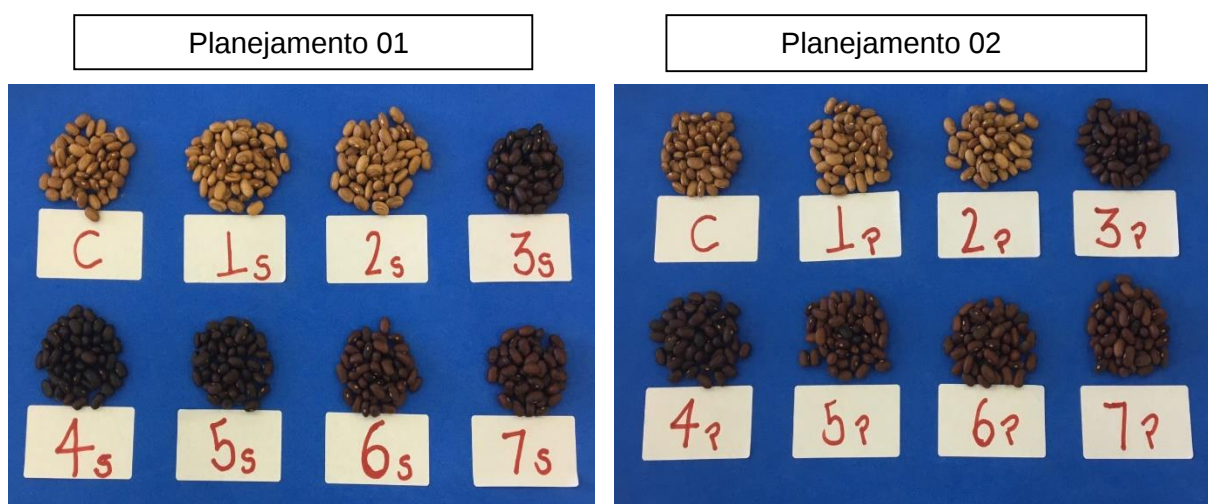


Figura 9 Aspecto visual dos grãos de feijão carioca, controle e processados, para os dois planejamentos, após a realização dos 7 ensaios do planejamento delineamento composto central (DCC).

Observa-se que, para as respostas avaliadas, em ambos os planejamentos, os valores apresentados pelos ensaios na condição de ponto central (ensaios 5, 6 e 7) apresentaram pequenas variações, indicando uma boa repetibilidade para o processo.

5.4.1 Efeito da condição de processamento sobre o tempo de cozimento dos grãos de feijão carioca

Os resultados para os dois planejamentos, das análises dos efeitos das condições de processamento sobre a variável resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão, são apresentados na Tabela 16. Observa-se que, para os dois planejamentos, apenas o fator concentração foi significativo ao nível de significância adotado ($p < 0,10$).

Tabela 16 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta tempo de cozimento dos grãos de feijão processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (3)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Planejamento 01 (carbonato de sódio)						
Média	16,57	7,285	2,27	0,107	-0,57	33,71
Tempo de maceração	1,00	19,276	0,05	0,961	- 44,36	46,36
Concentração de Na ₂ CO ₃ na maceração	-53,00*	19,276	-2,74	0,070	- 98,36	- 7,63
Interação 1 x 2	-1,00	19,276	-0,05	0,961	- 46,36	44,36
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Média	19,42	5,883	3,30	0,045	5,58	33,27
Tempo de maceração	0,50	15,56	0,03	0,976	- 36,13	37,13
Concentração de K ₂ CO ₃ na maceração	-51,50*	15,56	-3,30	0,045	- 88,13	- 14,86
Interação 1 x 2	-1,50	15,56	-0,09	0,929	- 38,13	35,13

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos (p<0,10).

As Equações 5 e 6 descrevem o tempo de cozimento (TC) em minutos dos grãos processados, previsto pelo modelo em função da concentração de Na₂CO₃ (planejamento 01) e concentração de K₂CO₃ (planejamento 02).

$$TC = 16,57 - 26,50C \quad (\text{planejamento 01}) \quad \text{Eq.(5)}$$

$$TC = 19,42 - 25,75C \quad (\text{planejamento 02}) \quad \text{Eq.(6)}$$

Ambos os modelos foram avaliados por meio da análise de variância apresentada na Tabela 17. Os parâmetros não significativos não foram considerados para análise de variância. Verifica-se que o valor da medida de adequação do ajuste, o coeficiente de determinação (R²), apresentou valor igual a 0,72 (planejamento 01) e 0,78 (planejamento 02). Portanto, havendo uma boa explicação da variação total dos resultados.

Tabela 17 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para o tempo de cozimento dos grãos processados

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F _c	F _{tab}	F _c /F _{tab}
Planejamento 01 (carbonato de sódio)						
Regressão	2809.00	1	2809.00	12.58	4.06	3.10
Resíduo	1116.71	5	223.34	-	-	-
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Regressão	2652.25	1	2652.25	18.18	4.06	4.48
Resíduo	729.46	5	145.89	-	-	-

Notas: Coeficiente de correlação R² - 72% (planejamento 01); R² - 78% (planejamento 02); F_c - valor calculado; F_{tab} - 10% de significância.

Para a regressão, o valor da relação entre F_c / F_{tab} foi igual a 3,10 para o planejamento 01 e 4,48 para o planejamento 02, portanto, sendo maior que 1. Dessa forma, o modelo para o tempo de cozimento dos grãos foi significativo nos dois planejamentos. Considerando que em ambos os planejamentos somente a variável concentração apresentou efeito significativo e os modelos lineares foram validados, foi possível apenas gerar a representação gráfica, apresentada na Figura 10.

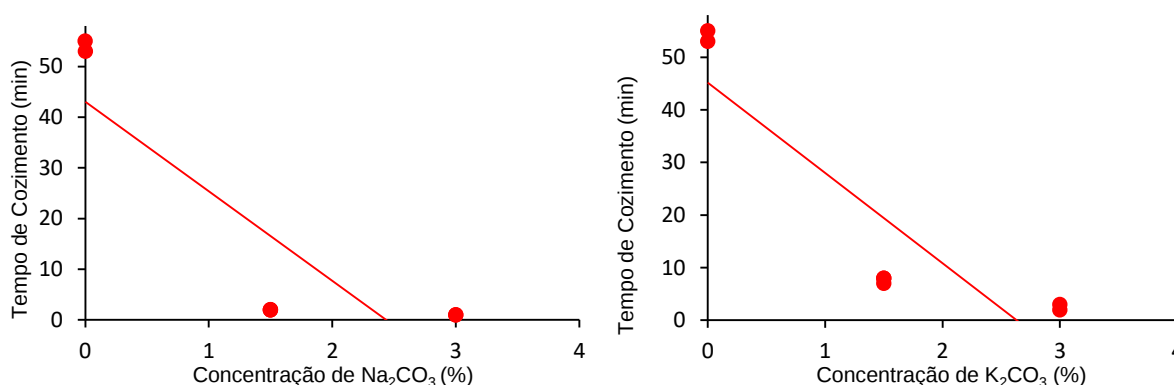


Figura 10 Parâmetro tempo de cozimento (minutos), em função dos fatores concentração de Na₂CO₃ (%) (planejamento 01) e concentração de K₂CO₃ (%) (planejamento 02).

Observa-se que para os dois planejamentos, o fator concentração utilizado no processamento de feijão carioca contribui para a redução no tempo de cozimento dos grãos. Nota-se que existe uma relação entre o aumento das concentrações e o tempo de cozimento, ou seja, com o aumento das concentrações na solução de maceração é possível obter menores tempos de cozimento para o feijão. Os resultados obtidos neste trabalho, em relação ao efeito dos sais, estão em concordância com os relatados em outras pesquisas.

Buzera et al. (2018) relataram que a adição de carbonato de sódio (0,025 M) na maceração por 16 horas de duas variedades de feijão biofortificados (HM21-7 e Namulenga), reduziu significativamente o tempo de cocção dos grãos. Resultados semelhantes foram encontrados por Kinyanjui et al. (2013), que, ao avaliarem o tempo de cozimento de grãos de feijão, submetidos ao processo de maceração, utilizando diferentes soluções na água de hidratação, observaram que a adição de Na₂CO₃ (0,1 M) diminui o tempo de cozimento dos grãos. Ainda, Wacu et al. (2015) verificaram que a adição de carbonato de sódio na maceração de grãos de feijão envelhecidos das cultivares Rose coco e Red Kidney reduziu o tempo de cozimento em 75% para o Rose coco e 70% para Red Kidney.

Kwofie et al. (2019), estudando a adição de K₂CO₃ no processamento de duas cultivares de feijão, verificaram que a adição de 5% de cloreto de potássio reduziu significativamente o tempo de cozimento em até 115 minutos. O mesmo efeito foi observado por MBA et al. (2019), que, estudando o processamento de cinco diferentes cultivares de feijão, observaram que a adição de 5% de K₂CO₃ reduziu o tempo de cozimento em 57%. Neste sentido, é possível afirmar que a adição de carbonato de sódio e carbonato de potássio

ao processamento do feijão contribui de forma significativa para a redução do tempo de preparo do produto.

5.4.2 Efeito da condição de processamento sobre a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento dos grãos de feijão carioca

A análise dos efeitos lineares para os dois planejamentos, das condições de processamento sobre a resposta porcentagem de grãos danificados, são apresentados na Tabela 18. Observa-se que, para o planejamento 01, nenhuma das variáveis analisadas apresentaram efeito sobre a porcentagem dos grãos danificados, ou seja, o processamento dos grãos de feijão segundo as condições propostas no planejamento 01 não contribuem para o aumento de dano no produto após o processamento, sendo possível manter a qualidade do produto e diminuir as perdas após o processo. Como os fatores não apresentaram efeitos significativos, não foi possível realizar a validação do modelo e a representação gráfica dos dados.

Tabela 18 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (3)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Planejamento 01 (carbonato de sódio)						
Média	24,54	2,889	8,49	0,003	17,74	31,34
Tempo de maceração	-4,38	7,645	-0,57	0,606	-22,37	13,61
Concentração de Na ₂ CO ₃ na maceração	12,09	7,645	1,58	0,211	-5,90	-30,08
Interação 1 x 2	-0,47	7,645	-0,06	0,954	-18,46	17,52
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Média	21,62	0,315	65,57	0,000	20,88	22,36
Tempo de maceração	-0,97	0,834	-1,16	0,327	-2,93	0,98
Concentração de K ₂ CO ₃ na maceração	12,90*	0,834	15,46	0,000	10,94	14,86
Interação 1 x 2	2,79*	0,834	3,34	0,044	0,83	4,75

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos (p<0,10).

Para o planejamento 02, observa-se que a resposta porcentagem de grãos danificados foram significativos (p<0,10): o termo linear concentração de K₂CO₃ e a interação tempo de maceração x concentração de K₂CO₃. A Equação 7 descreve a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento do feijão em função da concentração de K₂CO₃ e a interação tempo de maceração x concentração de K₂CO₃.

$$PGD = 21,62 + 6,45C + 1,39T \times C$$

Eq.(7)

O modelo para a porcentagem de grãos danificados foi avaliado por meio da análise de variância (Tabela 19). Os parâmetros não significativos não foram considerados para a análise de variância.

Tabela 19 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para a porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F_c	F_{tab}	F_c/F_{tab}
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Regressão	146.39	2	73.19	1.50	4.32	0.35
Resíduo	194.54	4	49.63	-	-	-

Notas: Coeficiente de correlação R^2 - 43%; F_c - valor calculado; F_{tab} - 10% de significância.

Observa-se que para a medida de adequação do ajuste do modelo, o coeficiente de determinação (R^2), é igual a 0,43, considerado de baixa qualidade por não explicar 57% do processo. A regressão não foi considerada significativa porque a relação entre F_c / F_{tab} , apresentou valor igual a 0,35, portanto, sendo menor que 1. Desta forma, o modelo para a porcentagem de grãos danificados é considerado não ajustado. Considerando que o modelo não foi significativo, não foi realizada a representação gráfica.

O índice de danos no produto, após as etapas de processamento, como a maceração, está relacionado com a qualidade da matéria-prima utilizada (PAN, et al., 2010). Zhão e Chang (2008) verificaram que a adição de sais no processo de maceração de leguminosas secas (ervilhas verdes, grão-de-bico e lentilhas) resulta em acréscimo no número de grãos partidos e danificados. Esses resultados corroboram com os encontrados por Schoeninger et al. (2014), que estudando a adição de NaCl e NaHCO_3 no processamento de feijão carioca, verificaram que quando se altera a concentração de 0 para 4,5%, o nível de dano no produto aumenta em 3,64%.

5.4.3 Efeito da condição de processamento sobre a textura dos grãos de feijão carioca após o processamento

Os resultados para os dois planejamentos, das análises dos efeitos das condições de processamento sobre a resposta textura dos grãos de feijão após o processamento, são apresentados na Tabela 20. Observa-se que para os dois planejamentos, apenas o fator concentração foi significativo ao nível de significância adotado ($p < 0,10$).

Tabela 20 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta textura dos grãos de feijão processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (3)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Planejamento 01 (carbonato de sódio)						
Média	50,02	7,35	6,80	0,006	32,72	67,32
Tempo de maceração	- 8,15	19,451	-0,41	0,703	- 53,92	37,62
Concentração de Na ₂ CO ₃ na maceração	- 73,14*	19,451	-3,76	0,032	- 118,91	-27,36
Interação 1 x 2	-5,48	19,451	- 0,28	0,796	- 51,25	40,29
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Média	61,53	1,07	57,07	0,000	58,99	64,06
Tempo de maceração	2,80	2,852	0,98	0,398	-3,91	9,51
Concentração de K ₂ CO ₃ na maceração	-65,93*	2,852	-23,11	0,000	-72,64	-59,21
Interação 1 x 2	3,46	2,852	1,21	0,311	- 3,25	10,17

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos (p<0,10).

As Equações 8 e 9 descrevem a textura (TE) em N.grão⁻¹ dos grãos processados, prevista pelo modelo em função da concentração de Na₂CO₃ (planejamento 01) e da concentração de K₂CO₃ (planejamento 02).

$$TE = 50,02 - 36,57C \quad (\text{planejamento 01}) \quad \text{Eq.(8)}$$

$$TE = 61,53 - 32,96C \quad (\text{planejamento 02}) \quad \text{Eq.(9)}$$

Os modelos foram avaliados por meio da análise de variância apresentado na Tabela 21. Os parâmetros não significativos não foram considerados para análise de variância. O valor da medida de adequação do ajuste, o coeficiente de determinação (R²), apresentou valor igual a 0,81 (planejamento 01) e 0,99 (planejamento 02), sendo considerado de alta qualidade. Portanto, havendo uma boa explicação da variação total dos resultados.

Tabela 21 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para a textura dos grãos processados

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F _c	F _{tab}	F _c /F _{tab}
Planejamento 01 (carbonato de sódio)						
Regressão	5349.46	1	5349.46	21.72	4.06	5.35
Resíduo	1231.49	5	246.30	-	-	-
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Regressão	4346.76	1	4346.76	491.54	4.06	121.06
Resíduo	44.22	5	8.84	-	-	-

Notas: Coeficiente de correlação R² - 81% (planejamento 01); R² - 99% (planejamento 02); F_c - valor calculado; F_{tab} - 10% de significância.

Para a regressão, o valor da relação entre F_c / F_{tab} foi igual a 5,35 para o planejamento 01 e 121,06 para o planejamento 02. Como a relação entre F_c / F_{tab} foi o maior que 1, o modelo para a textura dos grãos processados foi significativo, sendo o modelo considerado ajustado em ambos os planejamentos. Considerando que em ambos os planejamentos somente a variável concentração apresentou efeito significativo e os modelos lineares foram validados, foi possível apenas gerar a representação gráfica, apresentada na Figura 11.

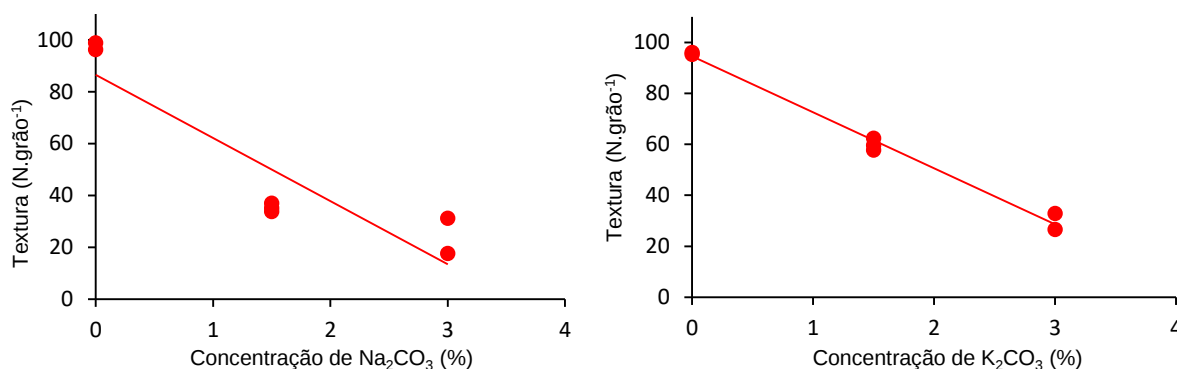


Figura 11 Parâmetro textura (N.grão⁻¹) dos grãos, em função dos fatores concentração de Na₂CO₃ (%) (planejamento 01) e concentração de K₂CO₃ (%) (planejamento 02).

Observa-se que para os dois planejamentos, o fator concentração utilizado no processamento de feijão carioca contribuiu para a redução da textura dos grãos após o processamento. Verifica-se que existe uma relação entre o aumento das concentrações e a textura dos grãos, ou seja, com o aumento das concentrações na solução de maceração é possível obter menor resistência a compressão nos grãos após o processamento. Os valores elevados de resistência a compressão podem ser resultado do defeito hard-to-cook (HTC) presente nos grãos.

A textura ou resistência à força de compressão de um alimento está relacionada a um conjunto de propriedades composta por características físicas perceptíveis pelo tato, sendo uma das características de qualidade sensoriais mais significativas na escolha do produto para o mercado consumidor (CHITARRA; CHITARRA, 2006).

Segundo Felows (2006), a textura de um alimento é determinada essencialmente pelos teores de umidade e gordura, pelos tipos e quantidade de carboidratos estruturais (celulose, amidos e materiais pécnicos) e pelas proteínas presentes. Alterações na textura dos alimentos estão diretamente relacionadas com a perda, coagulação e ou hidrólise destes compostos.

O endurecimento dos grãos de feijão está entre os principais problemas tecnológicos, pois tem como característica o aumento do tempo de cocção e, por consequência, a rejeição do consumidor, reduzindo, desta forma, o seu consumo. A utilização de soluções salinas no processo de maceração de grãos de feijão aumenta a capacidade de absorção de água e, portanto, reduz a textura e o tempo de cozimento dos grãos (GARCIA-VELA; STANLEY, 1989; DE LEON et al., 1992). Logo, a utilização de sais no processo de maceração prévia dos grãos

pode ser uma alternativa viável para diminuir a textura dos grãos de feijão, contribuindo para a redução do tempo de preparo dos grãos, resultando em economia de energia e tempo.

5.4.4 Efeito da condição de processamento sobre a porcentagem de hidratação dos grãos de feijão carioca após o processamento

Na Tabela 22, são apresentados os resultados, para os dois planejamentos, das análises dos efeitos das condições de processamento sobre a resposta porcentagem de hidratação dos grãos de feijão após o processamento. Observa-se que para o planejamento 01, nenhuma das variáveis analisadas apresentou efeito sobre a porcentagem de hidratação dos grãos, ou seja, o processamento dos grãos de feijão segundo as condições propostas no planejamento 01 não alteram a hidratação dos grãos após o processamento. Como os fatores não apresentaram efeitos significativos, não foi possível realizar a validação do modelo e a representação gráfica dos dados.

Tabela 22 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta hidratação dos grãos de feijão processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (3)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Planejamento 01 (carbonato de sódio)						
Média	85,70	1,829	46,85	0,000	81,40	90,01
Tempo de maceração	3,46	4,839	0,71	0,526	-7,92	14,84
Concentração de Na ₂ CO ₃ na maceração	-7,70	4,839	-1,59	0,209	-19,08	3,68
Interação 1 x 2	4,47	4,839	0,92	0,423	- 6,91	15,85
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Média	85,08	1,456	58,40	0,000	81,65	88,51
Tempo de maceração	-0,22	3,854	-0,05	0,957	-9,29	8,84
Concentração de K ₂ CO ₃ na maceração	-11,95*	3,854	-3,10	0,053	-21,02	-2,88
Interação 1 x 2	0,59	3,854	0,15	0,887	- 8,47	9,66

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos (p<0,10).

Para o planejamento 02, observa-se que para a resposta hidratação, apenas o fator concentração de K₂CO₃ foi significativo (p<0,10). A Equação 10 descreve a porcentagem de hidratação dos grãos, após o processamento do feijão em função da concentração de K₂CO₃.

$$PH = 85,08 - 5,97C \quad \text{Eq.(10)}$$

O modelo para a porcentagem de grãos danificados foi avaliado por meio da análise de variância (Tabela 23). Os parâmetros não significativos não foram considerados para análise de variância. Observa-se que o valor da medida de adequação do ajuste do modelo foi igual a 0,76, explicando bem a variação total dos dados.

Tabela 23 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para a porcentagem de hidratação dos grãos após o processamento

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F_c	F_{tab}	F_c/F_{tab}
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Regressão	143.28	2	71.64	6.42	4.32	1.49
Resíduo	44.61	4	11.15	-	-	-

Notas: Coeficiente de correlação R^2 - 76%; F_c - valor calculado; F_{tab} - 10% de significância.

Para a regressão, a relação entre F_c/F_{tab} apresentou valor igual a 1,49, portanto, sendo maior que 1; assim, o modelo para a porcentagem de hidratação dos grãos é significativo, sendo o modelo considerado ajustado. Tendo em vista que para o planejamento 02 apenas a variável concentração de K_2CO_3 apresentou efeito significativo e o modelo linear foi validado, foi possível gerar a representação gráfica, apresentada na Figura 12.

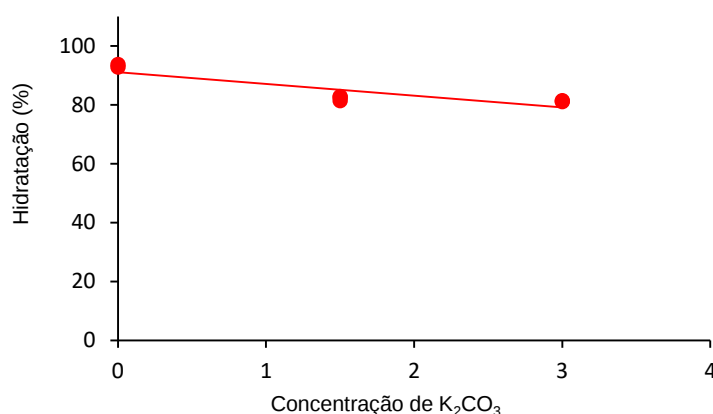


Figura 12 Parâmetro porcentagem de hidratação (%) dos grãos, em função do fator concentração de K_2CO_3 (%) (planejamento 02).

Observa-se que para o planejamento 02, o fator concentração de K_2CO_3 utilizado no processamento do feijão carioca contribui para a redução da taxa de hidratação dos grãos após o processamento. Existe uma relação entre o aumento da concentração de K_2CO_3 e a porcentagem de hidratação dos grãos, ou seja, com o aumento da concentração de carbonato de potássio no processamento do feijão, os grãos absorvem menos água.

Os valores médios encontrados no planejamento 02 para a hidratação dos grãos após o processamento são superiores aos 80% sugerido pela literatura como média de absorção de água associada a uma rápida cocção (RODRIGUES et al., 2005, SCHOENINGER et al., 2014; SILHOCHI et al., 2016).

Kinyanjui et al. (2015), avaliando a hidratação de nove variedades de feijão, submetidas a maceração em diferentes soluções salinas, observaram que os grãos que apresentaram o defeito HTC (hard-to-cook) absorveram menos água que os grãos que não apresentavam o defeito, mesmo quando utilizadas as soluções no processo de maceração. Em contrapartida, a utilização dos sais contribuiu para a redução no tempo de cocção dos grãos.

Buzera et al. (2018), estudando a adição de carbonato de sódio na maceração de duas diferentes variedades de feijão, observaram que a utilização do sal diminuiu a capacidade de hidratação dos grãos, mas não teve relação com o tempo de cozimento, sendo que a utilização de Na_2CO_3 apresentou redução significativa no tempo de preparo dos grãos.

Neste sentido, o uso de cloreto de potássio no processamento de grãos de feijão carioca, apesar de diminuir a capacidade de hidratação dos grãos, não tem relação com o aumento do tempo de preparo dos grãos, uma vez que a adição do sal no processo de maceração contribui para a redução do tempo de cozimento.

5.4.5 Efeito da condição de processamento sobre a diferença de cor (Δe^*) dos grãos processados em relação ao controle

Os resultados para os dois planejamentos, das análises dos efeitos das condições de processamento sobre a resposta diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão carioca, são apresentados na Tabela 24. Observa-se que, em ambos os planejamentos, apenas o fator concentração foi significativo ao nível de 10%.

Tabela 24 Efeitos lineares e das interações dos dois planejamentos DCC para a resposta diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão processados

Fator	Efeito	Desvio padrão (erro Puro)	t (3)	p	Limite de Confiança -90%	Limite de Confiança +90%
Planejamento 01 (carbonato de sódio)						
Média	19,87	2,317	8,57	0,003	14,42	25,33
Tempo de maceração	2,33	6,131	0,37	0,729	- 12,10	16,76
Concentração de Na_2CO_3 na maceração	22,61*	6,131	3,68	0,034	8,17	37,04
Interação 1 x 2	1,97	6,131	0,32	0,769	- 12,46	16,40
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Média	17,04	1,216	14,01	0,000	14,18	19,90
Tempo de maceração	0,80	3,218	0,25	0,818	- 6,76	8,37
Concentração de K_2CO_3 na maceração	19,14*	3,218	5,94	0,009	11,57	26,71
Interação 1 x 2	0,76	3,218	0,23	0,827	- 6,80	8,33

Nota: * Coeficientes estatisticamente significativos ($p < 0,10$).

As Equações 11 e 12 descrevem a resposta diferença de cor dos grãos processados, em relação ao controle (Δe^*), em função da concentração de Na_2CO_3 (planejamento 01) e da concentração de K_2CO_3 (planejamento 02).

$$\Delta e^* = 19,87 + 11,30C \quad (\text{planejamento 01}) \quad \text{Eq.(11)}$$

$$\Delta e^* = 17,04 + 9,57C \quad (\text{planejamento 02}) \quad \text{Eq.(12)}$$

Os modelos foram avaliados por meio da análise de variância apresentada na Tabela 25. Os parâmetros não significativos não foram considerados para análise de variância. Verifica-se que o valor da medida de adequação do ajuste, o coeficiente de determinação (R^2), apresentou valor igual a 0,81 (planejamento 01) e 0,92 (planejamento 02). Portanto, havendo uma boa explicação da variação total dos resultados.

Tabela 25 Resumo da análise de variância, para o ajuste do modelo para diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F_c	F_{tab}	F_c/F_{tab}
Planejamento 01 (carbonato de sódio)						
Regressão	511.21	1	511.21	20.93	4.06	5.16
Resíduo	122.11	5	24.42	-	-	-
Planejamento 02 (carbonato de potássio)						
Regressão	366.53	1	366.53	56.73	4.06	13.97
Resíduo	32.30	5	6.46	-	-	-

Notas: Coeficiente de correlação R^2 - 81% (planejamento 01); R^2 - 92% (planejamento 02); F_c - valor calculado; F_{tab} - 10% de significância.

Para a regressão, o valor da relação entre F_c / F_{tab} foi igual a 5,16 para o planejamento 01 e 13,97 para o planejamento 02, portanto, sendo maior que 1. Assim, o modelo para a diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados, em relação ao controle, foi significativo nos dois planejamentos. Considerando que em ambos os planejamentos somente a variável concentração apresentou efeito significativo e os modelos lineares foram validados, foi possível gerar as representações gráficas, apresentadas na Figura 13.

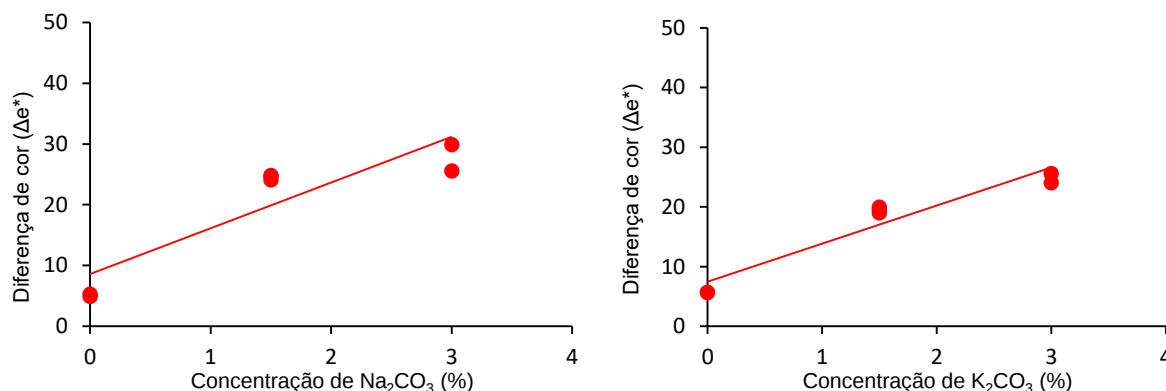


Figura 13 Parâmetro diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados, em função dos fatores concentração de Na_2CO_3 (%) (planejamento 01) e concentração de K_2CO_3 (%) (planejamento 02).

Observa-se que, em ambos os planejamentos, o fator concentração utilizado no processamento de feijão carioca contribui para diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados. Nota-se que existe uma relação entre o aumento das concentrações e a diferença de cor (ΔE^*) dos grãos, ou seja, com o aumento das concentrações na solução de maceração, conseqüentemente aumenta-se a diferença de cor dos grãos, em relação ao

controle. Os resultados obtidos neste trabalho, em relação ao efeito dos sais sobre a variável resposta diferença de cor (ΔE^*) estão em concordância com os relatados em outras pesquisas.

Iyer et al. (1980), ao avaliarem o processamento de diferentes variedades de feijão, utilizando a maceração dos grãos em soluções contendo NaCl (2,5%) e NaHCO_3 (1,5%), seguida de secagem, observaram que a adição dos sais contribui para a diminuição da luminosidade e aumenta a diferença de cor dos grãos, em relação ao controle. Resultados semelhantes foram observados por Kinyanjui et al. (2016), que, estudando a adição de Na_2CO_3 no processo de maceração de quatro diferentes variedades de feijão, observaram diminuição da luminosidade e escurecimento dos grãos.

Schoeninger et al. (2014), estudando diferentes concentrações de NaHCO_3 (1, 2, 5, 4 e 5%) adicionadas ao processo de maceração de feijão carioca, observaram valores para diferença de cor dos grãos, em relação ao controle (ΔE^*), variando entre 3,37 e 14,54. Segundo os mesmos autores, houve escurecimento do tegumento dos grãos quando adicionado o sal ao processo de maceração. Buzera et al. (2018), utilizando carbonato de sódio no processo de maceração de grãos de feijão biofortificados, verificou que os feijões embebidos em Na_2CO_3 eram mais escuros em comparação com os grãos considerados controle.

Segundo Araujo (2012), durante o processamento de alimentos, ocorrem diversos tipos de reações oxidativas, nas quais elétrons são removidos de átomos ou moléculas com formação de formas oxidativa. Essas reações provocam escurecimento, perda ou alterações do sabor, do odor e da textura, além da perda de valor nutritivo pela destruição de vitaminas e ácidos graxos essenciais. A deterioração dos produtos processados ocorre em decorrência das alterações bioquímicas, como PPO, lipoxigenase e microbiológicas, resultando na degradação de cor, textura e sabor.

Os efeitos dos sais sobre a diferença de cor dos grãos podem estar relacionados à sua natureza alcalina, o que aumenta o pH das soluções, encorajando a ocorrência de reações de escurecimento enzimático e não enzimático. A reação de escurecimento enzimático pode ser resultante da atuação da enzima polifenoloxidase (PPO), uma vez que o escurecimento é iniciado pela oxidação de compostos fenólicos e o produto inicial da oxidação é a quinona, que rapidamente condensa, formando pigmentos escuros insolúveis, denominados melanina. O pH ótimo de atuação encontra-se em valores acima de 6, sendo a enzima inativa em pH 4,0 ou abaixo. Já o escurecimento não enzimático pode ser resultado da descoloração provocada pela reação entre a carbonila e os grupos amina livres, com formação do pigmento denominado melanoidina. A intensidade das reações não enzimáticas aumenta quase que linearmente na faixa de pH 3 a 8 e atinge descoloração máxima na faixa alcalina de pH 9 a 10 (ARAUJO, 2012).

O consumo de feijão está diretamente voltado a aspectos sensoriais e nutricionais do grão, nos quais a cor é determinante na escolha do consumidor. Com base nos resultados

obtidos, verifica-se que as condições de processo dadas por concentrações de Na_2CO_3 e K_2CO_3 superiores a 1,5% diminuem significativamente o tempo de preparo dos grãos; em contrapartida, aumentam a diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle.

6 CONCLUSÕES

Entre os fatores avaliados, observou-se que o tempo de maceração, a concentração de bicarbonato de sódio e a concentração carbonato de sódio, nos níveis definidos pelo planejamento, reduziram significativamente o tempo de cozimento do produto; em contrapartida, aumentaram a diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle.

Dentre os fatores avaliados no delineamento composto central, observou-se que o tempo de 4 horas de maceração é suficiente para processamento dos grãos e que a concentração de 1,5% de carbonato de sódio e carbonato de potássio, utilizados na maceração de feijão carioca, reduzem consideravelmente a textura e o tempo de cozimento dos grãos. Porém, ocorre escurecimento do tegumento do feijão, aumentando as diferenças de cor dos grãos processados em relação ao controle.

O uso de carbonato de sódio pode ser uma alternativa para o processamento dos grãos de feijão, pois em menores concentrações apresenta efeito mais efetivo na redução do tempo de cozimento dos grãos, em relação à utilização de carbonato de potássio.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos no presente trabalho podem oferecer informações para pesquisas futuras em que o processo utilizado contemple a variação de cultivares de feijão, assim como grãos armazenados por diferentes períodos.

Sugere-se que sejam efetuados novos estudos com soluções e concentrações diferentes das utilizadas nesta pesquisa, a fim de se encontrar as condições ótimas para o processamento dos grãos de feijão.

Devem ser avaliadas também outras características importantes de qualidade tecnológica, verificando-se os atributos de sabor, cor, odor e aceitabilidade do produto por parte dos consumidores. Também são necessárias as avaliações nutricionais, verificando a ocorrência de alteração no conteúdo nutricional, digestibilidade, amido, qualidade proteica e vitaminas nos grãos após o processamento.

8 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T.C.; CANÉCHIO FILHO, V. **Principais culturas**. v. II. 2º ed. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas, 1987.
- ALONSO-SALCES, R. M.; GUYOT, S.; HERRERO, C.; BERRUETA, L. A.; DRILLEAU, J. F.; GALLO, B.; VICENTE, F. Chemometric classification of Basque and French ciders based on their total polyphenol contents and CIELab parameters. **Food Chemistry**, Daves, v. 91, n. 1, p. 91-98, 2005.
- AMINIGO, E. R.; METZGER, L. E. Pretreatment of African Yam Bean (*Sphenostylis stenocarpa*): effect of soaking and blanching on the quality of african yam bean seed. **Plant Foods for Human Nutrition**, Unidad Irapuato, v. 60, n. 1, p. 165-171, 2005.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos**. 5ª Edição. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012
- ARMELIN, J.M.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; PIEDADE, S. M. S.; MACHADO, F. M. V. F.; SPOTO, M. H. F. Avaliação física do feijão irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 498-502, 2007.
- ÁVILA, B. P.; SANTOS, M. S.; NICOLETTI, A. N.; ALVES, G. D.; ELIAS, M. C.; MONKS, J.; GULARTE, M. A. Impact of different salts in soaking water on the cooking time, texture and physical parameters of cowpeas. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 70, n. 4, p. 463-469, 2015.
- BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Burundi. **Food Chemistry**, Norwich v. 47, n. 2, p. 159-167, 1993.
- BARRETT, D. M.; BEAULIEU, J. C.; SHEWFELT, R. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. **Food Science and Nutrition**. London, v. 50, n. 5, p. 369-389, 2010.
- BASSINELLO, P. Z. **Qualidade dos grãos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_2_28102004161635.html. Acesso em: 15 dez. 2018.
- BASSINELLO, P. Z.; COBUCCI, R. M. A.; ULHÔA, V. G.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J. **Aceitabilidade de três cultivares de feijoeiro comum**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2003. 5 p. (Comunicado Técnico EMBRAPA, 66).
- BASSINELO, P. Z. Qualidade na escolha de variedades de feijão para o mercado consumidor. **Atualidades em microtoxinas e armazenagem qualitativas de grãos II**, 1. ed. Florianópolis: Imprensa Universitária, 586 p. 2008.
- BATHE, M. M.; KERBEL, E. L.; BROUSSARD, S.; SCHIMIDT, S. J. Modified atmosphere packaging protects market quality in broccoli spears under ambient temperature storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, p. 1070-1072, 1993.
- BERRIOS, J. J.; WOOD, D. F.; WHITELAND, L.; PAN, J. Sodium bicarbonate and the microstructure, expansion and color of extruded black beans. **Journal of Food Processing and Preservation**, Maryland, v. 28, n. 1, p. 321-335, 2004.

BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; ROCHA, F. Tempo de cocção de grãos de feijão em função de doses de fósforo no plantio e do tempo de armazenamento. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 39-47, 2009.

BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; ROCHA, F. Tempo de cocção de grãos de feijão em função de doses de fósforo no plantio e do tempo de armazenamento. **Biotemas**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 39-47, 2009.

BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; SILVEIRA, C. B.; TOALDO, D. Efeito de diferentes concentrações salinas na redução do tempo de cocção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 21, n. 3, p. 39-44, 2008.

BERTOLDO, J. G.; ROCHA, F.; BARILI, L. D.; VALE, N. M.; COIMBRA, J. L. M. Concentrações salinas combinadas com tempos de hidratação: efeito no tempo de cocção em feijão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 510-515, 2010.

BORDIN, L. C.; COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; ZILIO, M. Diversidade genética para a padronização do tempo e percentual de hidratação preliminar ao teste de cocção de grãos de feijão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 890-896, 2010.

BRACKMANN, A.; NEUWALD, D. A.; RIBEIRO, N. D.; FREITAS, S. T. Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 911-915, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 12**, de 28 de março de 2008. Propõe o regulamento técnico do feijão. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2008. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=294660055>. Acesso em: 15 jan. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Registro Nacional de Cultivares – RCN. **Anexo VII**. Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a inscrição no registro nacional de cultivares. 2003. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 23 jan. 2019.

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

BRESSANI, R. Research needs to up-grade the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Plant Foods for Human Nutrition**, Unidad Irapuato, v. 32, n. 1, p. 101-110, 1983.

BUZERA, A.; KINYANJUI, P.; ISHARA, J.; SILA, D. Physical and cooking properties of two varieties of bio-fortified common beans (*Phaseolus Vulgarius*. L) grown in DR Congo. **Food Science and Quality Management**. U.S.A., v. 71, p. 1-12, 2018.

CAI, T. D.; CHANG, K. C. Processing to improve quality of dehydrated precooked pinto beans. **Journal of Food Science**, Malden, v. 62, n. 1, p. 141-144, 1997.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de experimentos usando o Statistica**. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 260p. 2003.

CANTOS, E.; TUDELA, J. A.; GIL, M. I.; ESPÍN, J. C. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, p. 3015-3023, 2002.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L. C. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2067-2073, 2010.

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

CARNEIRO, J. D. S.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, G. A. A.; MININ, V.P.R.; CARNEIRO, P.C.S. Qualidade tecnológica dos grãos de linhagens de feijão. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO FEIJÃO, 6, 1999, Goiânia, GO. **Anais**. Goiânia: Embrapa, 1999. p.412-415.

COELHO, S. R. M.; PRUDENCIO, S. H.; NÓBREGA, L. H. P.; LEITE, C. F. R. Alterações no tempo de cozimento e textura dos grãos de feijão comum durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 539-544, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Observatório Agrícola**: Safras. Brasília, 2017. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-serie-historica-dashboard>. Acesso em: 10 dez. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perspectivas para a agropecuária**. v. 4 – Safra 2016/17. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_13_09_06_46_perspectivas_da_agropecuaria_2016-17_digital.pdf, 2016. Acesso em: 20 dez. 2018.

CORRÊA, P. C.; GUILHERME, A. A. P.; DINIZ, M. D. M. S.; BAPTESTINI, F. M.; FREITAS, R. L. Avaliação da cor de grãos de feijão tratados com cera de carnaúba. In: **Anais**. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA. Londrina: CLIA, 2012.

CORTE, A. D.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding an Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 3, n. 3, p. 193-203, 2003.

DE LEON, L. F.; ELÍAS, L. G.; BRESSANI, R. Effect of salt solution on the cooking time, nutritional and sensory characteristics of common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Food Research International**. Elsevier, v. 25, n. 2, p. 131-136, 1992.

DEL PINO, V. M. H.; LAJOLO, M. F. Efecto inhibitorio de los taninos del frijol carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre la digestibilidad de la faseolina por dos sistemas multienzimáticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 3, 2000.

DELFINO, R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Polyphenol and protein interaction and the effect on protein digestibility in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Perola. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 308-312, abr./jun. 2010.

DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS – DEPEC. **Feijão**. 2017. Disponível em: https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_feijao.pdf. Acesso em: 04 fev. 2019.

DÍAZ-BATALLA, L.; WIDHOLM, J. M.; FAHEY, G. G.; CASTAÑO-TOSTADO, E.; PAREDES-LÓPEZ, O. Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 6, p. 2045-2052, 2006.

DURIGAN, J. F.; FALEIROS, R. R. S.; LAM-SANCHES, A. Determinação das características tecnológicas e nutricionais de diversas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) – I: características tecnológicas. **Científica**, Jaboticabal, v. 6, n. 2, p. 215-224, 1978.

ELSADR, H. T.; WRIGHT, L. C.; PAULS, P.; BETT, K. E. Characterization of seed coat post harvest darkening in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 123, n. 8, p. 1467-1472, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Agência de Informação Embrapa: Feijão**. 2010. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_69_1162003151646.html. Acesso em: 15 jan. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **O feijão nosso de todo dia**. 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1462995/o-feijao-nosso-de-todo-dia>. Acesso em: 04 fev. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Origem e história do feijoeiro comum e do arroz**. Folder. Santo Antônio de Goiás, 2000. 2p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) nas regiões Norte e Nordeste do Brasil**. 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/916406/1/CIRCTECNICA89.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2019.

FARONI, L. R. A.; CORDEIRO, I. C.; ALENCAR, E. R.; ROZADO, A. F.; ALVEZ, W. M.; Influência do conteúdo de umidade de colheita e temperatura de secagem na qualidade do feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p.148-154, 2006.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípios e prática. Tradução por: Florencia Cladera Oliveira; Rubensan, Jane Maria; Nitzke, Julio Alberto; Thys, Roberta Cruz Silveira. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

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

FILGUEIRA, F. A. R. Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. **Novo Manual de Olericultura**. Viçosa, 421 p. 2008.

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

GEIL, P. B.; ANDERSON, J. W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 13, n. 6, p. 549-558, 1994.

GIESE, J. Color measurements in foods as a quality parameter. **Food Technology**, Chicago, v. 54, n. 2, p. 62-65, 2000.

GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. **Análise físico-química de alimentos**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 2011.

GRANATTO, D.; MASSON, M. L. Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. **Ciência e Tecnologia de alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 1090-1096, 2010.

GUERRA, N. B.; DAVID, P. R. B. S.; MELO, D. D.; VASCONCELOS, A. B. B.; GUERRA, M. R. M. modificações do método gravimétrico não enzimático para determinar fibra alimentar solúvel e insolúvel em frutos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 1, p.45-52, 2004.

HAMID, S.; MUZAFFAR, S.; WANI, I. A.; MASOODI, F. A.; BHAT, M. M. Physical and cooking characteristics of two cowpea cultivars grown in temperate Indian climate. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, n. 2, p. 127-134, 2016.

HELLEVANG, K. J. **Post harvest management to maintain bean quality**. 2005. Disponível em: <https://northharvestbean.org/html/details.cfm?ID=43>. Acesso em: 10 jan. 2018.

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

IALCIM, C.; ERSAN, K. Effect of location and soaking treatments on the cooking quality of some chickpea breeding lines. **International Journal of Food Science and Technology**, Wiley, v. 38, n. 1, p. 751-757, 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. 4 ed. 1. ed. digital. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Dezembro, 2017. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/2017/lspa_201712.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/lspa_201712.pdf). Acesso em: 10 dez. 2018.

JACOMINO, A. P.; ARRUDA, M. C.; CARON, V. C.; KLUGE, R. A. Taxa respiratória de melão inteiro e minimamente processado armazenado em três temperaturas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 402, Suplemento 1, 2002.

JOURDAN, G. A.; NOREÑA, C. P. Z.; BRANDELLI, A. Inactivation of trypsin inhibitor activity from Brazilian varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology International**, v. 13, n. 195, p 195-198, 2007.

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

KIGEL, J. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. **Biotechnological Agronomic Society Environmental**, v. 3, n. 4, p. 205-209. 1999.

KINYANJUI, P. K.; NJOROGI, D. M.; MAKOKHA, A. O.; CHRISTIAENS, S.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. Quantifying the effects of postharvest storage and soaking pretreatments on the cooking quality of common Beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, p. 1-10, 2016.

KINYANJUI, P. K.; NJOROGI, D. M.; MAKOKHA, A. O.; STEFANIE, C.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. Effects of soaking on the cooking time of different common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Kenya. In: Scientific Conference Proceedings. **Anais**. Nairobi – Kenya, p. 762-768, 2013.

KINYANJUI, P. K.; NJOROGI, D. M.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. Hydration properties and texture fingerprints of easy and hard-to-cook bean varieties. **Food Science & Nutrition**, v. 3, n. 1, p. 39-47, 2015.

KLUGE, R. A.; ANTONINI, A. C. C.; ROBLES, W. G. R.; TESSARIOLI, J. N.; JACOMINO, A. P.; SCARPARE, J. A. F. Avaliação de cultivares de berinjela em armazenamento refrigerado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, p. 1045-1050, 1999.

KWOFIE, E. M.; MBA, O. I.; NGADI, M.; KENNEDY, G. Nutrition-sensitive bean processing: analysis of degradation trade-off of softening techniques on some essential trace elements. **International Journal of Food and Nutrition**, v. 2, n. 3, p. 1-10, 2019.

LEITE, D. L.; ANTHONISEN, D. Caracterização molecular de cultivares de cebola por marcadores de RAPD. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 420-424, 2009.

LIMA, W. D. P. de A.; JERÔNIMO, E. S.; LIMA, C. A. de A.; GONDIM, P. J. de S.; ALDRIGUES, M. L.; CAVALCANTE, L. F. Características físicas e químicas de grãos verdes de linhagens e cultivares de feijão caupi para processamento tipo conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 129-134, 2003.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; POERSCH, N. L.; ANTUNES, L. F.; NORBERG, J. L. Análise de frações de fibra alimentar em cultivares de feijão cultivadas em dois ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 2033-2036, 2008.

MASKUS, H. **Pulse Processing, Functionality and Application**. 2010. Disponível em: <http://www.pulsecanada.com/media/2010-pulse-processing-functionality.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2018.

MBA, O. I.; KWOFIE, E. M.; NGADI, M. Kinetic modelling of polyphenol degradation during common beans soaking and cooking. **Heliyon**, Elsevier, v. 5, n. 5, p. 1-7, 2019.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p.109-114, 2005.

MORAIS, P. P. P.; VALENTINI, G.; GUIDOLIN, A. F.; BALDISSERA, J. N. C.; COIMBRA, J. L. M. Influência do período e das condições de armazenamento de feijão no tempo de cocção. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 593-598, 2010.

MORI, A. L. B. **Solubilidade das proteínas de feijão comum envelhecido**. 2001. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2001.

MOTTA, D. H. **Propriedades físicas durante a secagem e qualidade tecnológica em cultivares de feijão carioca em diferentes condições de armazenamento**. 2016. 175f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

OGWAL, M. O.; DAVIS, D. R. Rapid rehydration methods for dried beans. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 3, p. 611-612, 1994.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; COLPO, E.; POERSCH, N. L. Perfil sensorial de cultivares de feijão sob diferentes tempos de cozimento. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, Araraquara, v. 24, n. 2, p. 145-152, 2013.

PAN, Z.; ATUNGULU, G. G.; WEI, L.; HAFF, R. Development of impact acoustic detection and density separations methods for production of high quality processed beans. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 97, n. 1, p. 292-300, 2010.

PAREDES-LÓPEZ, O.; CÁRABEZ-TREJO, A.; PLAMA-TIRADO, L.; REYES-MORENO, C. Influence of harding procedure and soaking on cooking of common beans. **Plants Foods for Human Nutrition**. Dordrecht, v. 41, n. 1, p. 155-164, 1991.

PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; CARBONELL, S. A. M. Avaliação da estabilidade e adaptabilidade de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) baseada na análise multivariada da “performance” genotípica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 398-406, 2010.

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

PLACKETT, R. L.; BURMAN, J. P. The design of optimum multifactorial experiments. **Biometrika**, Ann Arbor, v. 33, n. 4, p. 305-325, 1946.

PROCTOR, J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Apple Hill, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

PROLLA, I. R. D.; BARBOSA, R. G.; VEECK, A. P. L.; AUGUSTI, P. R.; SILVA, L. P.; RIBEIRO, N. D.; EMANUELLI, T. Cultivar, harvest year, and storage conditions affecting nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 96-102, 2010.

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

REHMAN, Z.; SALARYA, A. M.; SAFAR, S. I. Effect of processing on available carbohydrate content and starch digestibility of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, Norwich, v. 37, n. 3, p. 351-355, 2001.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; FARONI, L.R.A.; CECON, P.R. Avaliação da qualidade tecnológica do feijão durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p.517-524, 2008.

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

RIBEIRO, H. J. S. S.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H.; MIYAGUI, D. T. Propriedades físicas e químicas de feijão comum preto, cultivar Iapar 44, após envelhecimento acelerado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 165-169, 2005.

RIBEIRO, N. D.; POERSCH, N. L.; ROSA, S. S. Períodos de semeadura e condições de armazenamento na qualidade de cozimento de grãos de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 936-941, 2008.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 39-45, 2003.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; TRETIN, M.; LONDERO, P. M. G. Qualidade para o cozimento de grãos de feijão obtidos em diferentes épocas de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 369- 376, 2005.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. 3ª Edição. Campinas, SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2014.

ROMANO, C. R.; HELBIG, E; RUTZ, D.; ELIAS, C. C. Avaliação de sólidos totais e proteína solúvel na água de hidratação de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO NACIONAL

- DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Anais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. v. 2. p. 684-686.
- SAMMÁN, N.; MALDONADO, S.; ALFARO, M. E.; FARFAN, N.; GUTIERREZ, J. Composition of different bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) of northwestern Argentina (region NOA): cultivation zone influence. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 47, n. 7, p. 2685-2689, 1999.
- SARTORI, M. R. **Technological quality of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) stored under nitrogen**. PhD. Dissertation. Department of Grain Science and Industry, Kansas State University. Manhattan, Kansas, USA, 1982.
- SATHE, S. K. Dry bean protein functionality. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175-223, 2002.
- SATHE, S. K.; DESHPANDE, S. S.; SALUNKHE, D. K. Dry beans of *Phaseolus*. A review. Part 2. Chemical composition: Carbohydrates, fiber, minerals, vitamins and lipids. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 21, p. 41-91, 1984.
- SCHOENINGER, V.; BISCHOFF, T. Z.; SILOCHI, R. M. H. Q.; PRADO, N. V.; COELHO, S. R. M. Processamento de grãos de feijão desidratados de cozimento rápido. In: XLV Congresso Brasileiro de engenharia Agrícola – COMBEA. **Anais**. Florianópolis –SC. 2016.
- SCHOENINGER, V. **Caracterização de cultivares de feijão para pré-processamento de grãos desidratados de cozimento rápido e processamento industrial**. 2015. 93f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.
- SCHOENINGER, V. **Otimização de parâmetros de pré-processamento para obtenção de feijão seco com reduzido tempo de cozimento**. 2012. 65f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.
- SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C. Processing parameter optimization for obtaining dry beans with reduced cooking time. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 49-57, 2014.
- SGARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. Campinas, Unicamp, 1987. 387p.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em Alimentos Proteicos: Propriedades, Degradações, Modificações**. São Paulo: Livraria Varela, 1996, 517p.
- SILOCHI, R. M. H. Q. **Caracterização tecnológica nutricional e metabólitos secundários em cultivares de grãos de feijão carioca durante o armazenamento**. 2015. 131f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.
- SILOCHI, R. M. H. Q.; COELHO, S. R. M.; BRANCO, E. M. Caracterização tecnológica e proteica de genótipos de feijão comum cultivados na região oeste do Paraná – Brasil. **Faz Ciência**, Francisco Beltrão, v. 18, n. 27, p. 33-55, 2016.
- SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Physico-chemical characterization, protein digestibility and antioxidant activity of comun bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 591-598, 2009.
- SIQUEIRA, B. S.; PEREIRA, W. J.; BATISTA, K. A.; OOMAH, D. B.; FERNANDES, K. F.; BASSINELLO, P. Z. Influence of storage on darkening and hardening of slow – and regular –

carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Journal of Agricultural Studies**, Cambridge, v. 2, n. 2, p. 2166-0369, 2014.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS – TACO. **Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA**. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 4a.ed., 2011.

TOLEDO, T. C. F.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação química e nutricional do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido por diferentes métodos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 355-360, 2008.

UEBERSAX, M. A. Dry edible beans: onigenous staple and healthy cuisine. **Forum on Public Policy**. Urbana, A Journal of the Oxford round table. 2006. Disponível em: <http://www.forumonpublicpolicy.com/archive06/uebersax.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2018.

URGA, K.; FUFA, H.; BIRATU, E.; GEBERETSADIK, M. Effects of blanching and soaking on some physical characteristics of grass pea (*Lathirus Sativus*). **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**. Nairobi, v. 6, n. 1, p. 1-17, 2006.

VALE, N. M.; BARILI, L. D.; ROCHA, F.; PREZZI, H. A.; ALMEIDA, C. B.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Adição de sal na água de hidratação reduz o tempo de cozimento em feijão comum ao longo do tempo de armazenamento. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 4, p. 617-623, 2010.

VICTORIA, F. N.; LUZ, M. L. G.; LUZ, C. A. S.; GULARTE, M. A. Análise sensorial de arroz parboilizado obtido por dois métodos de secagem: a quente e a frio. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, n. 13, p.214-218, 2010.

WACU, V.; NAMAEMBA, E.; MAKOKHA, A. N.; NJOROGI, D.; KINYANJUI, P.; SILA, D. Impacto of storage conditions on the physical properties and cooking characteristics of two bean varieties grown in Kenya. **Food Science and Quality Management**. U.S.A., v. 40, p. 15-24, 2015.

WANDER, A. E.; FERREIRA, C. M. **Consumo de feijão**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_62_1311200215103.html. Acesso em: 18 dez. 2018.

WANI, I. A.; DALBIR, S. S.; WANI, A. A.; GIL, B. S. Physical and cooking characteristics of some Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 1, p. 7-15, 2017.

WHITE, B.; HOWARD, L. R. Canned whole dry beans and bean products. In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M. A. **Dry beans and pulses**: production, processing and nutrition. Ames: John Wiley & Sons, p. 155-183, 2013.

YOKOYAMA, L. P.; STONE, L. F. **Cultura do feijoeiro no Brasil**: características da produção. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 75p., 2000.

ZAMINDAR, N.; BAGHEKHANDAN, M. S.; NASIRPOUR, A.; SHEIKHZEINODDIN, M. Effect of line, soaking and cooking time on water absorption, texture and texture and splitting of red kidney beans. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p.108-114, 2013.

ZAMINDAR, N.; BAGHEKHANDAN, M. S.; NASIRPOUR, A.; SHEIKHZEINODDIN, M. Effect of line, soaking and cooking time on water absorption, texture and splitting of red kidney beans. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 48, n. 1, p.1-7, 2011.

ZHAO, B.; CHANG, K. C. Evaluation of effects of soaking and precooking conditions on the quality of precooked dehydrated pea, lentil and chickpea products. **Journal of Food Processing and Preservation**, Wyndmoor, v. 32, n. 1, p.517-532, 2008.