



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA - MEC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO E PÓS-GRADUAÇÃO – PRPG
PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO - PPGAN

Fernanda
de Oliveira Gomes

Tese de Doutorado

***POTENCIAL TECNOLÓGICO,
NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE
GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA
O CONSUMO DE GRÃOS IMATUROS***

Teresina, Piauí. 2023.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO - PPGAN**

FERNANDA DE OLIVEIRA GOMES

**POTENCIAL TECNOLÓGICO, NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE GENÓTIPOS
DE FEIJÃO-CAUPI PARA O CONSUMO DE GRÃOS IMATUROS**

TERESINA

2023

FERNANDA DE OLIVEIRA GOMES

**POTENCIAL TECNOLÓGICO, NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE GENÓTIPOS
DE FEIJÃO-CAUPI PARA O CONSUMO DE GRÃOS IMATUROS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN) da Universidade Federal do Piauí – UFPI, na área de concentração Alimentos e linha de pesquisa Química, Bioquímica e Qualidade de Alimentos como requisito para obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição.

Orientador: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha

TERESINA

2023

FERNANDA DE OLIVEIRA GOMES

**POTENCIAL TECNOLÓGICO, NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE GENÓTIPOS
DE FEIJÃO-CAUPI PARA O CONSUMO DE GRÃOS IMATUROS**

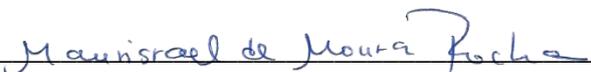
Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN), da Universidade Federal do Piauí - UFPI como requisito exigido à obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição.

Área de Concentração: Alimentos.

Linha de Pesquisa: Química, Bioquímica e Qualidade de Alimentos.

Aprovada em 4 de abril de 2023

BANCA EXAMINADORA



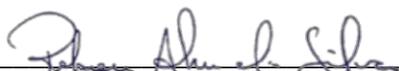
Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha (Embrapa Meio-Norte)
Orientador



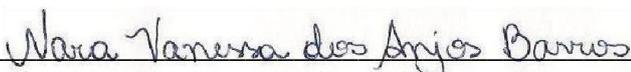
Profa. Dra. Amanda de Castro Amorim Serpa Brandão (UFPI)
Examinador Interno



Prof. Dr. Jorge Hashimoto (EMBRAPA MEIO NORTE)
Examinador interno



Prof. Dr. Robson Alves da Silva (IFPI)
Examinador interno



Profa. Dra. Nara Vanessa dos Anjos Barros (UFPI)
Examinador Externo ao Programa

Dedico a Deus, ao meu esposo Rafael, meus filhos Gabriel e Miguel e minha mãe Gracinha que sempre me apoiaram e me incentivaram na busca dos meus objetivos e realização dos meus sonhos. Aos demais familiares e a todas as pessoas que me ajudaram nesta caminhada, pois sem elas nada teria conseguido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus pelo dom da vida. Por me acompanhar sempre e ter me dado saúde, coragem e perseverança durante este período de grande dedicação à vida acadêmica.

Aos meus pais, Gracinha e Cipriano e meu irmão Francisco Neto pela presença, carinho, amor e dedicação importantes para a construção da minha personalidade. Tenho um pouco de cada um de vocês.

Ao meu esposo Rafael, meus filhos Gabriel e Miguel, meu sogro Custódio, minha sogra Leide, meus cunhados Marconi, Roberta, Nayra e Augusto e meus lindos sobrinhos Bernardo e Benício por todo apoio, incentivo e amor dedicados a mim nessa jornada.

A todos meus familiares, tios, padrinhos, primos, avós e amigos que me acompanham desde o início da minha vida, com muito amor e dedicação, colaborando para construção do meu caráter.

Ao meu tio Fábio Santana de Oliveira pela contribuição na revisão ortográfica da tese.

Aos meus avós Francisco Marques e Maria Isa Santana e aos meus tios Francisco Marques Filho e Fátima Santana *in memoriam*, pelo amor e incentivo em todos os momentos da minha vida profissional e pessoal.

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição pela acolhida e aos professores por todos os ensinamentos repassados que contribuíram para meu aprendizado e crescimento profissional. À CAPES pela bolsa concedida.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio-Norte, no Piauí, pelo apoio fornecido para execução da pesquisa. Ao técnico do laboratório de Bromatologia Luís José Duarte Franco por toda dedicação, apoio e carinho. A bolsista Suzane Pereira Carvalho e ao técnico José Moreira pela grande ajuda dada durante as análises.

Ao meu orientador Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha por toda paciência, ajuda, respeito e orientações que foram de suma importância para realização desse trabalho. Minha eterna gratidão!

À prof^a Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo por todo carinho e apoio dispensados no estágio docente. Minha admiração e respeito só aumentam por essa profissional tão dedicada.

Ao técnico de laboratório do Instituto Federal do Piauí – IFPI, zona sul, Jurandy do Nascimento Silva por todo auxílio na realização das análises de compostos bioativos e atividade antioxidante e pela colaboração do bolsista da Embrapa Michael Silva Damasceno.

À professora Christina Muratori e aos residentes do NUEPPA Nayara Kelen Miranda Mendes, Joana Andressa Pinheiro Rodrigues e Willy Kevin dos Anjos Candeira pela grande contribuição para realização das análises microbiológicas.

À minha turma de doutorado PPGAN-2016 por todos os momentos de tensão, alegria, descontração e realização durante esse período de convivência.

As minhas amigas Thaise, Daisy, Izabel, Bruna, Larissa, Rocilda e Lícia por todos os momentos de descontração, tensão e carinho.

Aos funcionários do PPGAN por toda disponibilidade e serviços prestados. Em especial, ao Sr. Osvaldo, D. Maisa.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização de mais um sonho.

Gratidão!

“Venham a mim, todos os que estão cansados e sobrecarregados, e eu darei descanso a vocês. Tomem sobre vocês meu jugo e aprendam de mim, pois sou manso e humilde de coração e vocês encontrarão descanso para suas almas. Pois meu jugo é suave e o meu fardo é leve”.

Mateus 11,28-30

RESUMO

O feijão-caupi é considerado uma das culturas alimentares mais importantes das regiões Norte e Nordeste do Brasil, devido a sua qualidade nutricional, que fornece substâncias como proteínas, minerais, fibras e vitaminas, além de ser um gerador de emprego e renda. Objetivou-se, por meio deste estudo, avaliar a qualidade nutricional e funcional e a conservação pós-colheita de genótipos de feijão-caupi imaturos acondicionados em dois tipos de embalagens. Esta tese está dividida em três capítulos, contextualização teórica, resultados e discussão e considerações finais. Primeiramente, foram realizadas análises de composição centesimal e de minerais em quatro genótipos de feijão-caupi imaturos crus e cozidos com o objetivo de avaliar as perdas pós cocção. Posteriormente uma linhagem foi selecionada pelos seus atributos químicos e teores de elementos minerais e comparada com uma cultivar comercial como testemunha para realização do branqueamento e posterior congelamento, com o objetivo de avaliar a eficácia desses processos de conservação, seguido das análises de composição centesimal e de minerais nesses genótipos, em um terceiro momento foram realizadas análises de compostos bioativos e atividade antioxidante em dois genótipos branqueados e congelados. Finalmente foi realizada a análise de vida de prateleira em dois genótipos branqueados e congelados e armazenados em duas embalagens distintas. Os resultados evidenciaram que após a cocção, ocorreu um aumento no teor de umidade e redução nos teores de cinzas, lipídios, proteínas, carboidratos e valor energético total (VET) nos genótipos avaliados. Em relação aos teores de elementos minerais, as menores perdas após cocção em ordem crescente foram relacionadas aos minerais Fe, Mn e Zn, com perdas de 0,53%; 0,93% e 3% respectivamente. Quanto aos grãos imaturos branqueados e congelados não foram observadas diferenças entre os genótipos avaliados para os teores de umidade, lipídeos, fibras alimentares e VET; já para os teores de proteínas, cinzas e carboidratos, a linhagem MNC00-595F-27 apresentou diferenças significativas e os maiores teores para esses nutrientes, quando comparada a cultivar testemunha. Para todos os compostos bioativos, a linhagem MNC00-595F-27 apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) e teores maiores que a cultivar testemunha. Em relação aos fenólicos totais não houve diferenças entre a linhagem MNC00-595F-27 e a cultivar comercial testemunha nos três extratos estudados. A linhagem MNC00-595F-27 apresentou maior atividade antioxidante nos métodos de captura dos radicais livres DPPH e ABTS quando utilizado o extrato aquoso. Comparando os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27 conservados em embalagens laminadas e de polietileno, a embalagem de polietileno apresentou maiores teores de umidade, lipídeos e proteínas, enquanto a embalagem laminada apresentou maiores teores de cinzas e carboidratos. Quanto aos minerais, a embalagem laminada conservou melhor os grãos imaturos da linhagem MNC00-595F-27, quando comparada a cultivar testemunha, bem como também conservou melhor a maioria dos minerais analisados quando comparada à embalagem de polietileno. Todos os grupos de micro-organismos analisados durante o período de conservação dos grãos imaturos branqueados e congelados foram inferiores ao limite máximo permitido pela legislação brasileira. Conclui-se, portanto, que os grãos imaturos da linhagem MNC00-595F-27 apresentam teores relevantes de proteínas, minerais e compostos bioativos, ($p < 0,05$), quando comparada ao padrão comercial, demonstrando seu potencial nutricional após o cozimento para o mercado de alimentos branqueados e congelados.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Composição centesimal. Minerais. Compostos bioativos. Atividade antioxidante. Conservação. Pós-colheita.

ABSTRACT

Cowpea is considered one of the most important food crops in the North and Northeast regions of Brazil, due to its nutritional quality, which provides substances such as proteins, minerals, fibers, and vitamins, in addition to being a generator of employment and income. The aim of this study was to evaluate the nutritional and functional quality and post-harvest conservation of immature cowpea genotypes packaged in two types of packaging. This thesis is divided into three chapters. First, chemical, and mineral composition analyzes were carried out in four raw and cooked immature cowpea genotypes to assess post-cooking losses. Subsequently, a line was selected for its chemical and mineral attributes and a commercial cultivar as a control for bleaching and subsequent freezing, performing chemical and mineral composition analyzes on these genotypes. In a third moment, analyzes of bioactive compounds and antioxidant activity were carried out in two blanched and frozen genotypes. Finally, the shelf-life analysis was performed on two genotypes blanched and frozen and stored in two different packages. The results showed that after cooking, there was an increase in moisture content and a reduction in ash, lipid, protein, carbohydrate, and total energy value (TEV) in the evaluated genotypes. About minerals, the lowest losses after cooking in ascending order were related to minerals Fe, Mn and Zn, with losses of 0.53%; 0.93% and 3% respectively. As for bleached and frozen immature grains, no differences were observed between the genotypes evaluated for moisture, lipid, dietary fiber, and TEV; as for protein, ash and carbohydrates, the line MNC00-595F-27 showed significant differences and the highest contents of these nutrients, when compared to the control cultivar. For all bioactive compounds, the line MNC00-595F-27 showed significant differences ($p < 0.05$) and higher contents than the control cultivar. Regarding total phenolics, there were no differences between the line MNC00-595F-27 and the commercial control cultivar in the three studied extracts. The line MNC00-595F-27 showed greater antioxidant activity in the methods of scavenging free radicals DPPH and ABTS when using the aqueous extract. Comparing bleached and frozen immature grains of the line MNC00-595F-27 preserved in laminated and polyethylene packages, the polyethylene package had higher moisture, lipid, and protein contents, while the laminated package had higher ash and carbohydrate contents. As for minerals, the laminated packaging better preserved the immature grains of the line MNC00-595F-27, when compared to the control cultivar, as well as better preserved most of the analyzed minerals when compared to the polyethylene packaging. All groups of microorganisms analyzed during the storage period of immature bleached and frozen grains were lower than the maximum limit allowed by Brazilian legislation. It is concluded, therefore, that the immature grains of the line MNC00-595F-27 have relevant contents of proteins, minerals and bioactive compounds, when compared to the commercial standard, demonstrating their nutritional potential after cooking for the blanched and frozen food market.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Proximate composition. Minerals. Bioactive compounds. Antioxidant activity. Post-harvest conservation.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO TEMÁTICA

- Figura 1.** Mercado do feijão-caupi para vagens e grãos imaturos (feijão-verde)17
- Figura 2.** Lavoura de feijão-caupi no estágio de maturação de feijão-verde em roça de agricultora familiar.....18
- Figura 3.** Grãos imaturos da classe comercial cores, subclasse comercial verde.....19
- Figura 4.** Grãos imaturos de feijão-caupi acondicionados em embalagem plástica (polietileno)33
- Figura 5.** Grãos imaturos crus dos genótipos de feijão-caupi avaliados no estudo. Teresina/PI, 2021.....36
- Figura 6.** Grãos imaturos cozidos dos genótipos de feijão-caupi avaliados no estudo. Teresina/PI, 2021.....37

CAPÍTULO 2 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

ARTIGO 3

- Figura 1.** Composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos de feijão-caupi conservados em embalagem laminada em seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.....119
- Figura 2.** Composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27 conservada em embalagem laminada e de polietileno em seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.....121

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO TEMÁTICA

Tabela 1. Variabilidade dos teores de minerais nos grãos imaturos de feijão-caupi. Teresina/PI, 2021.....22

CAPÍTULO 2 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

ARTIGO 1

Table 1. Cooking time averages of immature grains of four cowpea genotypes. Teresina/PI, 2021.....67

Table 2. Proximate composition and total energy value (TEV) of raw and cooked immature grains of four cowpea genotypes (Wet base). Teresina/PI, 2021.....69

Table 3. Mean mineral content in raw (dry base) and cooked grains of four cowpea genotypes (wet base). Teresina/PI,2021.....72

ARTIGO 2

Tabela 1. Composição centesimal e valor energético total (VET) de grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi (base seca). Teresina/PI, 2021.90

Tabela 2. Teor de minerais de grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi (base seca). Teresina/PI, 2021.....92

Tabela 3. Comparativo da Ingestão Diária Recomendada (IDR) com a oferta de nutrientes em 100g de grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem elite de feijão-caupi MNC00-595F-27, porcentagem de adequação e classificação quanto a concentração de nutrientes.....93

Tabela 4. Teor de fenólicos totais em grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi utilizando três diferentes extratos (base seca). Teresina/PI, 2021.....93

Tabela 5. Compostos bioativos dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos feijão-caupi (base seca). Teresina/PI, 2021.....95

Tabela 6. Atividade antioxidante dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi determinada pelo método de sequestro do radical DPPH e ABTS utilizando três diferentes solventes de extração (base seca). Teresina/PI, 2021.....96

ARTIGO 3

Tabela 1. Parâmetros microbiológicos de grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi conservados em seis meses de armazenamento. Teresina/PI, 2022.....116

Tabela 2. Contagem de bactérias mesófilas e psicotróficas em grãos imaturos de dois genótipos de feijão-caupi conservados em diferentes embalagens em seis meses de armazenamento. Teresina/PI, 2022.....117

Tabela 3. Comparativo médio da composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi conservados em embalagem laminada em seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.....118

Tabela 4. Comparativo médio da composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 conservados em diferentes embalagens (laminada e polietileno) em quatro meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.....120

Tabela 5. Teor de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi conservados em embalagem laminada por um período de seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.....122

Tabela 6. Teor médio de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos feijão-caupi conservados em embalagem laminada em seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.....124

Tabela 7. Teor de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC595F-27 conservados em embalagem de polietileno em quatro meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.....	125
Tabela 8. Comparativo do teor médio de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 conservados em diferentes embalagens (laminada e polietileno) em quatro meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.....	126

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	134
CAPÍTULO 1 - CONTEXTUALIZAÇÃO TEMÁTICA	166
1. REFERENCIAL TEÓRICO	177
1.1. O feijão-caupi e o mercado de vagens e grãos imaturos (feijão-verde).....	177
1.2. Composição química dos grãos imaturos de feijão-caupi	200
1.3. Minerais e sua composição nos grãos imaturos de feijão-caupi	21
1.4. Compostos bioativos e atividade antioxidante dos grãos de feijão-caupi.....	23
1.5. Processamento térmico dos grãos secos de feijão-caupi.....	28
1.5.1 Processamento térmico dos grãos imaturos de feijão-caupi	29
1.6. Conservação pós-colheita dos grãos imaturos de feijão-caupi	30
1.7. Embalagens utilizadas na conservação do feijão-verde.....	31
2 OBJETIVOS	35
2.1. Geral:	35
2.2. Específicos:	35
3 METODOLOGIA	36
3.1. Protocolo experimental	36
3.2. Cozimento dos grãos imaturos.....	37
3.3. Branqueamento e congelamento dos grãos imaturos.....	37
3.4. Análise da composição centesimal	38
3.5. Análise de minerais.....	40
3.6. Análise do teor de fibras alimentares.....	40
3.7. Compostos Bioativos	41
3.7.1. Carotenoides totais.....	41
3.7.2. Flavonóides e antocianinas	42
3.7.3. Ácido ascórbico (vitamina C)	42
3.8. Obtenção dos extratos para análise de fenólicos totais e atividade antioxidante.....	43
3.8.1. Fenólicos totais (Polifenóis)	43
3.8.2. Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH.....	44
3.8.3. Determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS.....	44
3.9. Vida de prateleira sob congelamento	45
3.10. Análises microbiológicas	45
3.10.1. Pesquisa de <i>Samonella</i> sp	45
3.10.2. Número mais provável de Coliformes a 35°C e 45°C	46
3.10.3. Contagem de bactérias mesófilas e psicotróficas	46
3.11. Análises estatísticas	46
REFERÊNCIAS	47
CAPÍTULO 2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
ARTIGO 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERAL DOS GRÃOS IMATUROS CRUS E COZIDOS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI	61
ARTIGO 2 - QUALIDADE NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE GRÃOS IMATUROS BRANQUEADOS E CONGELADOS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI.....	79
ARTIGO 3 - VIDA DE PRATELEIRA DE GRÃOS IMATUROS DE FEIJÃO-CAUPI BRANQUEADOS E CONGELADOS EM DIFERENTES EMBALAGENS	108
CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	1344
ANEXOS	1345

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é originário da África e considerado um importante componente na dieta de países em desenvolvimento da África, América Latina e Ásia por ser uma valiosa fonte de proteína de baixo custo. Ele foi introduzido no Brasil na segunda metade do século XVI por colonizadores portugueses, no Estado da Bahia. No Norte e Nordeste do Brasil, o grão é um dos alimentos mais consumidos pela população de baixa renda que sofre de deficiências como a desnutrição (CAVALCANTE et al., 2017a). Na safra 2021/2022, os estados da Bahia (113.500 t), Ceará (103.500 t), Tocantins (996.700 t), Piauí (83.500 t) e Mato Grosso (975.700 t) foram os maiores produtores nacionais (CONAB, 2022).

Utilizado para várias finalidades e em diferentes sistemas de produção, o feijão-caupi pode ser comercializado como grãos secos, vagens e grãos imaturos (feijão-verde) e sementes. Além desses mercados, há ainda o de feijão-vagem (feijão-de-metro) e o de feijão processado (FREIRE FILHO et al., 2017; SOUSA et al., 2019). O mercado de feijão-caupi gira principalmente em torno da produção de grãos secos ou imaturos. Amplamente apreciado por seu sabor e fácil preparo, o grão imaturo é utilizado em diversos pratos típicos da região Nordeste do Brasil, sendo o “baião-de-dois” o mais popular, onde o feijão-caupi e o arroz são cozidos juntos, constituindo-se em um dos principais acompanhamentos de pratos principais de restaurantes nordestinos.

Os grãos imaturos de feijão-caupi encontram-se próximos ao estágio de maturação fisiológica, quando possuem alto percentual de água e, por consequência, são altamente perecíveis, exigindo o uso de métodos de conservação onerosos quando comparados aos grãos secos (LIMA et al., 2000; LIMA et al., 2003).

A produção e o consumo de grãos imaturos de feijão-caupi representam um mercado altamente promissor, tornando-se uma boa opção de renda para os agricultores familiares e empresariais. Por esta razão, é considerado uma importante fonte regional de emprego e renda. Os grãos imaturos de feijão-caupi apresentam grande potencial de aumento de consumo, bem como de processamento industrial, principalmente quando produzidos no período de entressafra, época em que o produto atinge preços altos no mercado (MELO et al., 2017).

Pesquisas referentes aos grãos imaturos de feijão-caupi pós processamento térmico são importantes, uma vez que esse alimento é consumido geralmente cozido. Os métodos de preparo do feijão influenciam a qualidade sensorial e o valor nutricional do alimento. Como a forma cozida dessas leguminosas é a mais consumida, o aquecimento permite a utilização dos grãos, melhorando a digestão, a absorção de nutrientes e as características sensoriais (aparência,

aroma, sabor e textura). Em geral, o processamento térmico afeta a qualidade nutricional dos grãos imaturos de feijão-caupi, com alterações observadas nos teores de macronutrientes, vitaminas, minerais e fitoquímicos (TOLEDO; CANNIATTI-BRAZACA, 2008; FERNANDES; CALVO; PROENÇA, 2012; COSTA, 2014; MELO et al., 2017).

A composição química e as propriedades nutricionais do feijão-caupi variam consideravelmente de acordo com a cultivar. Vasconcelos et al. (2010) relataram a importância do monitoramento químico e nutricional de novas cultivares de feijão-caupi. Pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de caracterizar quimicamente os grãos secos de linhagens e cultivares de feijão-caupi, principalmente em relação aos teores de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais e, mais recentemente, compostos bioativos (BARROS, 2014; CARVALHO et al., 2012; ELHARDALLOU et al., 2015; FAMATA et al., 2013; KALPANADEVI; MOHAN, 2013; PINHEIRO, 2013; SALGADO et al., 2005). Porém, em relação à composição química do grão-verde, os estudos são ainda escassos (LIMA et al., 2000; NUNES et al., 2006; ANDRADE et al., 2011).

A tendência atual é de crescente procura por alimentos processados e semiprocessados de fácil utilização pelo consumidor, devido à mudança de hábitos. O feijão-verde é um segmento de mercado do feijão-caupi bastante relevante na região Nordeste do Brasil, onde o seu consumo é bastante tradicional. No entanto, os grãos imaturos de feijão-caupi *in natura* são bastante perecíveis, tornando-se necessário desenvolver formas alternativas de comercialização com maior vida de prateleira.

O processamento dos grãos imaturos de feijão-caupi é uma forma de preservação da coloração verde característica e garante o consumo em qualquer época do ano, principalmente na entressafra. Neste sentido, vários trabalhos têm sido desenvolvidos sobre diferentes formas de processamento e conservação pós-colheita do feijão-verde, tais como a refrigeração, o enlatamento e o congelamento (FURTUNATO; MAGALHÃES; MARIA, 2000; LIMA et al., 200; LIMA et al., 2003; SÁ et al. 2014; MACHADO et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2018; PEREIRA et al., 2021; TAVARES et al., 2022).

O processamento industrial do feijão-verde surge como uma alternativa viável para aumentar a sua vida de prateleira, contribuindo também para a ampliação do período de comercialização, distribuição e o aumento do consumo de feijão-caupi no Brasil.

CAPÍTULO 1 - CONTEXTUALIZAÇÃO TEMÁTICA

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 O feijão-caupi e o mercado de vagens e grãos imaturos (feijão-verde)

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), também denominado feijão-de-corda ou feijão macassar, é uma Dicotiledônea pertencente à ordem Rosales, família Leguminosae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae, gênero *Vigna*, e à espécie *Vigna unguiculata*. Foi introduzido no Brasil na segunda metade do século XVI e as introduções continuam até hoje. Com todos esses anos de cultivo e, conseqüentemente, com a ocorrência de cruzamentos naturais e seleção natural, e ainda com a seleção dos tipos de planta e de grão pelos produtores, com base em suas preferências visuais e culinárias, surgiram muitos tipos de plantas e de grãos (FREIRE FILHO, 2011).

A grande variabilidade genética do feijão-caupi o torna versátil, sendo usado para vários fins e em diversos sistemas de produção, sendo comercializado como grãos secos (mercado principal), grãos imaturos ou frescos (feijão-verde), farinha para acarajé e sementes (ROCHA, 2021). A colheita do feijão-caupi geralmente é realizada na fase de vagens e grãos secos, mas também pode ser realizada após os grãos terem atingido o teor de sólidos para o qual estão geneticamente programados, no início da maturidade fisiológica, obtendo-se, desta forma, grãos de coloração verde apreciável e de considerada aceitabilidade, devido ao sabor suave e textura macia (LIMA et al., 2003).

O mercado do feijão-verde é o segundo maior mercado de feijão-caupi no Brasil, de grande importância na região Nordeste (Figura 1) e em muitas capitais das regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, apresentando preços atrativos para o produtor e boas perspectivas de expansão do consumo e do processamento industrial (ANDRADE et al., 2011).



Figura 1. Mercado do feijão-caupi para vagens e grãos imaturos (feijão-verde). Fonte: www.google.com.br

Há um grande consumo de feijão-caupi na forma de grãos imaturos na região Nordeste do Brasil. Quando se fala em feijão-verde, a palavra verde se refere mais ao estágio em que a vagem é colhida do que propriamente à cor dos grãos. É um produto com grande potencial para a expansão do consumo, como também para processamento industrial. Todo o comércio é realizado em forma de vagem ou de grãos debulhados, sem nenhum processamento (FREIRE FILHO et al., 2007).

Atualmente vem aumentando o interesse de pequenos produtores e consumidores para a produção e consumo do feijão verdes ou frescos. Para esse sistema de cultivo, o feijão-caupi é tratado como hortaliça. Corresponde às vagens em torno da maturidade, ou seja, um pouco antes ou depois do estágio em que param de acumular fotossintatos e iniciam o processo de desidratação natural. Seu reconhecimento é fácil, pois as vagens estão bem intumescidas e começam a sofrer uma leve mudança de tonalidade. Na fase de colheita, os grãos apresentam em torno de 60 a 70% de umidade (ANDRADE, 2010).

Os pequenos agricultores e agricultores familiares são os principais produtores de feijão-caupi para o mercado de feijão-verde (Figura 2), representando para eles uma fonte alternativa de renda, mas praticada sem adoção de tecnologias.



Figura 2. Lavoura de feijão-caupi no estágio de maturação de feijão-verde em roça de agricultora familiar. Foto: André Gurjão. Fonte: ww.google.com.br

O plantio é realizado, principalmente em regime de sequeiro ou em áreas de vazante, sendo a comercialização realizada em feiras livres, sendo vendido na forma de vagem ou debulhado. Segundo Lima (2009), atualmente, tem-se verificado uma maior demanda pelos grãos já debulhados, no entanto, a ampliação da oferta de feijão-verde debulhado é dificultada pela alta perecibilidade dos grãos e pouca informação sobre o seu manuseio pós-colheita, resultando, em poucos dias de vida de prateleira.

Embora estudos tenham identificado cultivares altamente produtivas, o feijão-verde ainda não é comprado pela cultivar e nem pelos seus atributos de qualidade, e sim pelo preço. Para a produção de feijão-verde, geralmente são preferidas cultivares de grãos brancos ou do tipo sempre verde. Entretanto, também são usados cultivares com grãos de outras cores, como mulato, azulada e corujinha. Com exceção da cor branca, nas demais cores, à medida em que a vagem ou grão debulhado vai perdendo a umidade, o grão vai adquirindo a cor natural de grão seco, ou seja, vai escurecendo e isso deprecia o produto. Alguns trabalhos têm sido realizados visando resolver esse problema por meio de técnicas de processamento dos grãos (FREIRE-FILHO et al., 2007).

A cor do grão é um importante aspecto visual do mercado de grãos imaturos de feijão-caupi. No estudo realizado por Sousa et al. (2019), avaliando 16 genótipos de feijão-caupi, destacaram-se as linhagens de feijão-caupi MNC00-595F-27 e MNC05-847B-123 por apresentarem alta produtividade e adaptabilidade para a produtividade de grãos imaturos, além de pertencerem à subclasse comercial “Verde”, caracterizada por apresentar grãos de tegumento e cotilédones verdes (Figura 3).



Figura 3. Grãos imaturos da classe comercial cores, subclasse comercial verde.

Fonte: www.google.com.br

Segundo Freire Filho et al. (2007), os genótipos desta subclasse comercial apresentam alta potencial para o mercado de feijão-verde devido à sua maior capacidade de preservar sua cor verde pós-colheita, em comparação com as outras subclasses comerciais de feijão-caupi. A utilização de cultivares da subclasse comercial “verde” tem sido uma estratégia do melhoramento para aumentar a vida de prateleira dos grãos imaturos.

1.2 Composição química dos grãos imaturos de feijão-caupi

A qualidade nutricional do grão de feijão-caupi é muito importante e tem impactos positivos sobre a saúde do consumidor. Neste sentido, estudos têm sido conduzidos sobre a avaliação de genótipos quanto às características nutricionais, principalmente em relação aos teores de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais nos grãos secos. Em relação aos minerais, os teores de ferro e zinco tem sido a ênfase dos programas de biofortificação (ANDRADE et al., 2011).

A composição química dos grãos secos de feijão-caupi foi objeto de vários estudos, mas, com relação à composição química de grãos imaturos, os estudos ainda são esporádicos (ANDRADE, 2010; COSTA, 2014). O grão seco de feijão-caupi apresenta cerca de 56,8% de carboidratos, 1,3% de gorduras, 3,9% de fibras e 23,4% de proteínas na composição média do grão. Também possui importantes frações de lipídios, açúcares, cálcio, ferro, potássio (OLIVEIRA et al., 2015). O grão imaturo apresenta em média teor de proteína de $9,65\text{g } 100\text{g}^{-1}$, o de fibra alimentar é de $7,54\text{g } 100\text{g}^{-1}$, e o índice glicêmico é de $46,88\text{ g } 100\text{g}^{-1}$ (SOUSA et al., 2015).

Cultivares de feijão-caupi diferem na composição química e nas características de cozimento dos grãos. De forma geral, o feijão-caupi é rico em lisina e outros aminoácidos essenciais e pobre em aminoácidos sulfurados. É uma excelente fonte de tiamina e niacina e contém quantidades razoáveis de outras vitaminas hidrossolúveis, além de minerais como ferro, zinco, potássio e fósforo, sendo também uma boa fonte de fibras dietéticas (SANTOS, 2016).

Em estudo realizado por Melo et al. (2017), com o objetivo de determinar a composição química e o efeito do processamento térmico sobre o grão imaturo de cultivares de feijão-caupi biofortificado obtiveram as seguintes variações na composição centesimal: o teor de umidade e VET variaram de 58,82 a 60,66% e de 159 a 170 Kcal 100g^{-1} (base úmida), respectivamente. Os teores de cinzas, proteínas, lipídios e carboidratos (base seca) do grão imaturo cru variaram de 1,58 a 1,68%, 11,03 a 13,25%, 1,31 a 2,23% e 36,11 a 38,13%, respectivamente. Após tratamento térmico, houve aumento do conteúdo lipídico (1,57 a 2,36%) e redução dos teores

de cinzas (0,83 a 1,09%), proteínas (10,25 a 13,13%) e carboidratos (25,22 a 28,50%), exceto a cultivar BRS Tumucumaque, que apresentou redução no teor de lipídios (2,04%) e aumento no teor de proteínas (12,94%). Essas reduções no conteúdo de alguns nutrientes foram devido a perda de solúveis para água de cocção.

A composição química do grão de feijão-caupi proporciona vários benefícios à saúde, sendo por isso, indicado na prevenção e no tratamento de várias doenças, além de preencher as principais recomendações para a saúde como o aumento do consumo de fibras, ferro, amido e outros carboidratos complexos e contribuir para a diminuição no consumo de lipídios e sódio. Seus grãos são especialmente valiosos como fonte de proteínas, na redução de LDL (lipoproteína de baixa densidade), por apresentar adequado aporte de aminoácidos, vitaminas e minerais, incluindo folato, tiamina e riboflavina, ser digerido mais lentamente que outros cereais e tubérculos e apresentar um baixo índice glicêmico (PEREIRA, 2014).

1.3 Minerais e sua composição nos grãos imaturos de feijão-caupi

O feijão é considerado uma das culturas alimentares mais importantes do mundo devido a sua qualidade nutricional que fornece nutrientes como proteínas, ferro, zinco e vitaminas e, combinado com o arroz, constitui a base da alimentação da população brasileira, além de ser um dos produtos agrícolas de grande valor econômico (PEREIRA, 2014). Os minerais desempenham funções específicas no organismo, tais como, transporte de oxigênio, metabolismo energético, balanço hídrico, atividade enzimática e estrutural (OLIVEIRA, 2018).

As populações de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento sofrem com os danos causados pela desnutrição, o que pode acarretar doenças provenientes de deficiência tanto calórico/proteica quanto de micronutrientes. Ao redor do mundo estima-se que mais de três bilhões de pessoas sofrem com a má nutrição de micronutrientes, dentre elas a deficiência de ferro e zinco que são consideradas problemas de saúde pública, afetando diversos grupos populacionais, principalmente crianças e mulheres (WELCH et al., 2000; BURATTO, 2012).

O problema da fome e da baixa qualidade alimentar é bastante acentuado nas populações das regiões Norte e Nordeste do Brasil (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2010). Alimentos ricos em micronutrientes, como vegetais, frutas, produtos lácteos, carne e peixe, geralmente são caros e de difícil acesso para os mais pobres, fazendo com que as populações com menos recursos recorram a alimentos que lhes garantam a energia necessária, mas não os micronutrientes necessários, prevalecendo nessas populações ao longo do tempo déficits em micronutrientes (LIMA et al., 2013). A proporção de pessoas desnutridas no mundo é de 12,5%, correspondendo

a 868 milhões de indivíduos. Destes, 234 milhões encontram-se na África. No Brasil são treze milhões de desnutridos (FAO, 2012).

A deficiência de micronutrientes está relacionada com uma série de efeitos deletérios a saúde infantil, provocando resultados físicos e cognitivos adversos irreversíveis e que terão consequências ao longo da vida, tais como atraso no desenvolvimento mental, redução na atividade motora, social e emocional e no desenvolvimento neurofisiológico. Entre os adultos, os principais sintomas são letargia, diminuição da capacidade física e reprodutiva, declínio da função cognitiva e debilidade imunológica (OLIVEIRA, 2016).

Nesse sentido, fica evidente que a carência de micronutrientes é fator limitante para o desenvolvimento socioeconômico de comunidades ou países. Por outro lado, medidas de intervenção que objetivam o controle e a prevenção de déficit nutricional podem reduzir tanto a morbidade como a mortalidade, além de promover desenvolvimento físico, neurológico e avanço intelectual (KENNEDY; NANTEL; SHETTY, 2003; ROMAÑA; OLIVARES; BRITO, 2015).

Assim, produtos de origem vegetal, como hortaliças e leguminosas, são cada vez mais recomendados para a obtenção de uma alimentação equilibrada, por serem excelentes fontes de minerais benéficos à saúde e seu consumo está associado ao bom funcionamento do corpo (OLIVEIRA, 2018).

Os grãos imaturos de feijão-caupi representam excelentes fontes de minerais. Os poucos estudos avaliando os teores de minerais nos grãos imaturos têm evidenciado uma variação significativa (Tabela 1) que permitirá aos programas de melhoramento o desenvolvimento de cultivares biofortificadas em macro e microminerais para o mercado de feijão-verde.

Tabela 1. Variabilidade dos teores de minerais nos grãos imaturos de feijão-caupi. Teresina/PI, 2021.

Mineral	Variação do teor do mineral no grão		Referência
	Imaturo cru	Imaturo cozido	
Ca (mg 100g ⁻¹)	51,18 a 76,88	52,99 a 91,47	Costa (2014)
	60 a 100	-	Carvalho et al. (2022)
K (mg 100g ⁻¹)	1095,23 a 1253,12	711,84 a 1001,96	Costa (2014)
	970 a 1.156	-	Carvalho et al. (2022)
Mg (mg 100g ⁻¹)	146,94 a 156,62	110,14 a 147,85	Costa (2014)
	310 a 340	-	Carvalho et al. (2022)

S (mg 100g ⁻¹)	59 a 74	-	Carvalho et al. (2022)
B (mg 100g ⁻¹)	0,89 a 1,360	-	Carvalho et al. (2022)
Fe (mg 100g ⁻¹)	6,15 a 10,23	5,55 a 6,44	Costa (2014)
	5,01 a 7,09	-	Carvalho et al. (2022)
Zn (mg 100g ⁻¹)	4,32 a 5,51	4,36 a 5,06	Costa (2014)
	4,15 a 5,54	-	Carvalho et al. (2022)
Cu (mg 100g ⁻¹)	0,45 a 0,59	0,42 a 0,52	Costa (2014)
	0,53 a 0,78	-	Carvalho et al. (2022)

Os teores de elementos minerais de Carvalho et al., (2022) foram convertidos para mg/100g. Fonte: Autoria própria, 2023.

1.4 Compostos bioativos e atividade antioxidante dos grãos de feijão-caupi

Os polifenóis são estruturas químicas com grupos hidroxila e anéis aromáticos que apresentam propriedades antioxidantes. Os principais polifenóis incluem flavonoides, ácidos fenólicos, fenóis simples, cumarinas, taninos, ligninas e tocoferóis. Esses fitoquímicos complementam os antioxidantes endógenos, que regulam as várias reações de redução da oxidação que ocorrem continuamente no corpo. Por sua vez, compostos fenólicos são conhecidos por serem instáveis e são influenciados pela temperatura utilizada durante o processamento de alimentos (CAVALCANTE et al., 2017a).

Os fenólicos auxiliam no crescimento e reprodução das plantas e apresentam, além disso, uma função de proteção contra infecções e agressões por micro-organismos (situações de estresse) e servem como filtros de radiação UV, contribuindo com o aroma, adstringência, cor e estabilidade oxidativa das mesmas. Os compostos fenólicos englobam desde moléculas simples até moléculas com alto grau de polimerização. Estão presentes nas plantas na forma livre ou ligados a açúcares e proteínas e estão incluídos na categoria de interruptores de radicais livres, sendo muito eficientes na prevenção da autoxidação (SANTOS, 2016). A presença dessas substâncias tem sido estudada devido a suas propriedades farmacológicas, antinutricionais e antioxidantes (PADERMO, 2017).

Os compostos fenólicos estão amplamente distribuídos entre as distintas partes das plantas. Sua maior concentração está nas frutas, nas hortaliças e em seus derivados, tais como: azeite virgem de oliva, vinho tinto, chás etc. Nos cereais e leguminosas são encontrados em concentrações relevantes. Os alimentos de origem vegetal contêm diferentes tipos de compostos fenólicos, em concentrações muito variáveis (LI et al., 2005; SOARES, 2002). Assim como em outras leguminosas, o feijão-caupi apresenta substâncias polifenólicas na composição de seus

grãos, principalmente no tegumento, sendo a cor do tegumento determinada pela presença de antocianinas, flavonoides e taninos condensados (BENINGER; HOSFIELD, 2003).

A cor é um dos mais importantes atributos de qualidade de um alimento, exercendo influência em seu valor estético e servindo de base para a aceitação de uma grande variedade de produtos alimentícios por parte dos consumidores. Em produtos naturais, a maioria das substâncias responsáveis pela cor pertence à classe dos flavonoides (BEZERRA, 2015). Os flavonoides compõem uma ampla classe de substâncias de origem natural, cuja síntese não ocorre na espécie humana. Entretanto, tais compostos possuem uma série de propriedades farmacológicas que atuam sobre sistemas biológicos de forma benéfica para a saúde humana (PETERSON; DWYER, 1998).

Os flavonoides são estruturas polifenólicas de baixo peso molecular encontradas naturalmente nos vegetais (DREOSTI, 2000). Apesar de o termo flavonoide derivar do latim *flavus*, que significa amarelo, observa-se que os grupos flavonóis e flavonas são incolores e que a classe das antocianinas possui substâncias que variam de coloração do verde ao azul. Consumidos em grandes proporções dentro de uma dieta regular, os flavonoides são encontrados em vegetais, legumes, frutas, chás de ervas, mel, entre outros produtos de consumo cotidiano (LOPES et al., 2000).

As antocianinas são pigmentos naturais amplamente distribuídos em alimentos de origem vegetal, tais como feijões, frutas e verduras (DEGÁSPARI; WASZCZYNSKYJ, 2004). Além de contribuir para a cor de flores e frutas, as antocianinas atuam como filtro das radiações ultravioletas nas folhas. Em certas espécies de plantas estão associadas com a resistência a patógenos e atuam melhorando e regulando a fotossíntese (MAZZA; MINIATI, 1993). Apresentam diversas funções: antioxidantes, proteção à ação da luz, mecanismo de defesa e função biológica. As cores vivas e intensas que elas produzem têm um papel importante em vários mecanismos reprodutores das plantas, tais como a polinização e a dispersão de sementes (BEZERRA, 2015).

O ácido ascórbico, conhecido genericamente como vitamina C, é um composto redutor relativamente forte, na forma de cristal branco, inodoro e termolábil (SMIRNOFF, 2000; AZULAY et al, 2003), solúvel em água e pouco solúvel em solventes orgânicos, encontra-se largamente distribuído nos reinos animal e vegetal, sendo utilizado na hidroxilação de diversas reações químicas celulares que apresentam caráter ácido e ação redutora (ANDRADE et al., 2002).

A vitamina C é um inibidor da formação de compostos N-nitrosos no estômago. Em vegetais, também desempenha um papel protetor contra espécies reativas de oxigênio que são

formadas a partir da fotossíntese e de processos respiratórios. Está ligado ao crescimento celular, estando envolvido no ciclo celular e outros mecanismos de crescimento e divisão da célula vegetal, bem como atuando como cofator para muitas enzimas. Talvez, a vitamina C seja o mais abundante antioxidante solúvel em água no corpo (BYERS; PERRY, 1992; SILVA; NAVES, 2001; BARATA-SOARES et al., 2004).

Os fatores determinantes na avaliação dos efeitos benéficos à saúde exercidos pelos compostos fenólicos são a estabilidade ao processo gastrointestinal e a sua bioacessibilidade, isto inclui liberação da matriz alimentar, tamanho da partícula, transformações decorrentes da variação do pH, reações de oxidação e interações com os componentes da matriz, como as proteínas, e até mesmo com outros polifenóis. Geralmente o conteúdo bioacessível de um nutriente costuma ser menor do que aquele encontrado na matriz alimentar, já que durante o processo digestivo diversos fatores irão influenciar na estabilidade do composto (PADERMO, 2017)

Um antioxidante é definido como qualquer substância que, quando presente em baixas concentrações comparadas àquelas de um substrato oxidável (por exemplo, proteínas, lipídios, carboidratos ou ácidos nucleicos), atrasa, de forma significativa, ou evita a oxidação do substrato. São substâncias capazes de proteger as células contra danos causados por radicais livres (SANTOS, 2016).

Os antioxidantes podem ser divididos em duas classes, com atividade enzimática e sem essa atividade. Na primeira, estão os compostos capazes de bloquear o início da oxidação, ou seja, as enzimas que removem as espécies reativas ao oxigênio. Na segunda classe, estão moléculas que interagem com as espécies radicalares e são consumidas durante a reação. Nesta classificação, incluem-se os antioxidantes naturais, como os compostos fenólicos e sintéticos. Podem ainda ser classificadas em função do seu modo de ação em primários e secundários. Os primários atuam interrompendo a cadeia da reação através da doação de elétrons ou hidrogênio aos radicais livres, convertendo-os em produtos termodinamicamente estáveis e/ou reagindo com os radicais livres, formando o complexo lipídio-antioxidante que pode reagir com outro radical livre. Já os antioxidantes secundários atuam retardando a etapa de iniciação da autooxidação por diferentes mecanismos que incluem complexação de metais, sequestro de oxigênio, decomposição de hidroperóxidos para formar espécie não radical, absorção da radiação ultravioleta ou desativação de oxigênio singlete (ANGELO; JORGE, 2007).

Costa e Rosa (2016) consideram que os antioxidantes possuem a propriedade de interceptar os radicais livres originados no metabolismo ou por fontes exógenas, impedindo a formação de lesões, mantendo a integridade celular. Dentre os antioxidantes temos os obtidos

na dieta como vitaminas C, E, A, flavonoides e carotenoides. Esses antioxidantes agem por diferentes mecanismos neutralizando radicais livres, diminuindo concentrações de peróxidos, reparando membranas oxidadas e reduzindo produção de substâncias reativas de oxigênio.

Ojwang, Dykes e Awika (2012) investigaram o perfil de antocianinas e flavonóis em grãos de diferentes cores em diferentes genótipos de feijão-caupi. Os autores identificaram oito antocianinas e 23 flavonóis. Quercetina e suas formas glicosídicas foram predominantes na maioria dos fenótipos, enquanto miricetina e campferol glicosídeos foram identificados apenas em fenótipos específicos como nas variedades preta e vermelha. Apenas as cultivares de cor preta e verde continham antocianinas, principalmente delphinidina e cianidina-3-o-glicosídeo. O estudo concluiu que os fenótipos de feijão-caupi influenciaram o tipo e a quantidade de flavonoides presentes nas sementes, o que, conseqüentemente, influenciará nos efeitos à saúde proporcionados por estes grãos. Em um estudo em grãos secos de três cultivares de feijão-caupi, Barros et al. (2013) encontraram conteúdos elevados de substâncias bioativas, como compostos fenólicos e flavonoides, com propriedades antioxidantes.

Cavalcante et al. (2017b) ao avaliar o efeito do processamento térmico na composição química, compostos bioativos e atividade antioxidante de cultivares de feijão-caupi observaram que após o processamento térmico, houve um aumento nos teores totais de flavonoides nas cinco cultivares, considerando feijão cozido e caldo de cozimento. Houve decréscimo no teor total de polifenóis nos grãos das cinco cultivares de feijão-caupi, após o processamento térmico. Os teores de compostos fenólicos foram significativos, considerando a soma dos teores obtidos nos grãos cozidos e respectivos caldos culinários, justificados pela redução das proteínas ligadas aos polifenóis no cozimento. Portanto, a transferência de compostos para o caldo ocorre devido à solubilidade em água desses compostos. O processamento térmico também afetou a atividade antioxidante dos grãos de feijão-caupi das cultivares. A cultivar BRS Marataoã apresentou a maior atividade antioxidante, antes e após o processamento e no caldo de cocção, seguida pela BR 17-Gurguéia.

Em estudo realizado sobre identificação e quantificação de compostos fenólicos e da atividade antioxidante no feijão-caupi em grãos da cultivar BRS Xiquexique, esta apresentou $199,05 \pm 1,98$ mg equivalente de ácido gálico-GAE 100 g^{-1} (MOREIRA-ARAÚJO et al., 2018). Baseado em um estudo de Marathe et al. (2011) com as leguminosas feijão-comum, feijão-caupi, grão-de-bico, soja e ervilha em três grupos diferentes de acordo com o conteúdo de compostos fenólicos, a cultivar de feijão-caupi apresentou moderado teor fenólico (> 100 e < 200 mg de GAE 100 g^{-1}).

Em um estudo de Zia-Ul-Haq et al. (2013), níveis mais altos de compostos fenólicos (1.190 - 1.620 mg GAE 100 g⁻¹) foram observados nas farinhas de quatro cultivares de feijão-caupi cru consumido no Paquistão. Segundo esses autores, diversos fatores podem interferir no teor de compostos fenólicos em leguminosas, como fatores genéticos e ambientais, além de fatores inerentes às condições de extração desses compostos, como o tipo de solvente utilizado.

Em um estudo conduzido por Moreira-Araújo et al. (2018), a cultivar de feijão-caupi BRS Xiquexique apresentou alto teor de flavonoides (67,96 mg 100 g⁻¹). Behling et al. (2004) relataram que o conteúdo de flavonoides em alimentos consumia diariamente 44 mg em cereais, 79 mg em batatas, 45 mg em grãos e nozes e 162 mg em vegetais e ervas. As cultivares de feijão-caupi apresentaram altos teores desses compostos. Em relação aos frutos brasileiros, as cultivares de feijão-caupi apresentam teores superiores aos observados por Barreto, Benassi e Mercadante (2009) para jaca (22,3 ± 0,2 mg EQ 100 g⁻¹), para nectarina (23,7 ± 1,2 mg EQ 100 g⁻¹) e para carambola (42,6 ± 2,3 mg EQ 100 g⁻¹).

Xu e Chang (2012) analisaram os efeitos da promoção da saúde relacionados à atividade antioxidante de 13 leguminosas consumidas nos Estados Unidos, incluindo ervilhas, lentilhas, soja e grão de bico, feijão-caupi e feijão comum. Os autores, utilizando o método DPPH, observaram que as atividades antioxidantes da soja amarela e do feijão preto foram 107 µmol TEAC 100 g⁻¹ e 1940 µmol TEAC 100 g⁻¹, respectivamente. Moreira-Araújo et al. (2018), obtiveram na sua pesquisa utilizando o método DPPH (575.4 µmol TEAC 100 g⁻¹) valores superiores aos relatados para ervilhas amarelas (358 µmol TEAC 100 g⁻¹), grão de bico (294 µmol TEAC 100 g⁻¹), ervilhas (277 µmol TEAC 100 g⁻¹) e soja amarela (107 µmol TEAC 100 g⁻¹), e inferiores às do feijão-caupi (707 µmol TEAC 100 g⁻¹).

As diferenças observadas nos conteúdos de compostos bioativos entre espécies de feijões se devem a vários fatores, entre eles: o genótipo (variedade ou cultivar) da planta, práticas agronômicas, maturidade na colheita, pós-colheita, armazenamento e às condições climáticas, de cultivo e de armazenamento (LUTHRIA; PASTOR-CORRALES, 2005). Outros fatores secundários podem interferir no poder de extração destes compostos da matriz alimentar, como o tipo de solvente utilizado, grau de polimerização, tempo e temperatura de extração além da interação destes com outros constituintes do alimento (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; MARATHE et al., 2011).

Estudos sobre compostos bioativos e atividade antioxidante nos grãos imaturos de feijão-caupi ainda são poucos na literatura. Vieira, Bezerra e Santos (2021) avaliaram os teores de compostos bioativos e a atividade antioxidante nos grãos imaturos de oito cultivares de feijão-caupi; os autores observaram que a cultivar Costela de Vaca apresentou as maiores

concentrações de clorofila e carotenoides e a cultivar BRS Marataoã apresentou a maior concentração de compostos fenólicos e, conseqüentemente, maior capacidade antioxidante.

Carvalho et al. (2022), avaliando os teores de compostos bioativos e atividade antioxidante de grãos imaturos de dez cultivares de feijão-caupi em Portugal, observaram uma variação nos teores de fenólicos totais, flavonoides e ortho-difenólicos de 8,07-18,26 mg GA g⁻¹, 3,01-13,40 mg CAT g⁻¹ e 8,84-18,51 mg GA g⁻¹, respectivamente. Quanto a atividade antioxidante, observaram uma variação pelo método ABTS de 0,0102-0,0355 mmol Trolox g⁻¹, enquanto pelo método DPPH, de 0,2160-0,2661 mmol Trolox g⁻¹.

1.5 Processamento térmico dos grãos secos de feijão-caupi

O tempo de cozimento é de fundamental importância para a aceitação de uma cultivar de feijão pelos consumidores, pois a disponibilidade para o preparo das refeições é, muitas vezes, restrita. Cultivares que apresentam grãos com cozimento rápido proporcionam economia de tempo e de energia. Além disso, períodos prolongados de cozimento causam mudanças estruturais em nível celular, provocando perdas nutricionais. A identificação de linhagens com menor tempo de cozimento, rápida capacidade de hidratação, com tegumentos que não se partam durante o cozimento e com alta expansão volumétrica, após o cozimento, é desejável (ANDRADE, 2010).

A aceitabilidade de um alimento na dieta humana não depende apenas de sua qualidade nutricional, mas também, de suas características de cozimento, de hidratação e da qualidade do caldo produzido. O feijão é muito sensível a alterações pós-colheita, no que se refere à sua qualidade de cocção e palatabilidade e, ao ser armazenado por mais de dois meses, os grãos adquirem coloração escura e de cocção mais difícil. Todos esses fatores dificultam a comercialização do produto (LIMA et al., 2003).

O processamento térmico adequado nos grãos melhora a digestão, absorção de nutrientes e características sensoriais. O cozimento adequado também pode reduzir oligossacarídeos não digeríveis e fatores antinutricionais termolábeis, como inibidores de tripsina e fitatos. O processamento térmico resulta em mudanças consideráveis nas capacidades antioxidantes dos grãos (CAVALCANTE et al., 2017b).

O tempo de cocção é influenciado por diversos fatores, dentre eles o tempo de armazenamento, o qual reflete no grau de dureza dos grãos em decorrência do decréscimo da qualidade fisiológica e relaciona-se com a capacidade de penetração de água nos grãos que pode ser devido a efeitos de impermeabilidade do tegumento do feijão à água, causando uma

hidratação mais lenta durante o cozimento, ou ainda, pode ser devido à impermeabilidade dos cotilédones à água, em razão das modificações químicas que ocorrem durante o armazenamento (SANTOS, 2016).

O tratamento térmico dos alimentos, fundamental em nosso dia a dia, proporciona melhoria das características sensoriais dos alimentos, melhoram a palatabilidade dos mesmos e a digestibilidade de proteínas e amidos, além de reduzir os fatores antinutricionais. Contudo, a cocção também pode causar modificações nos fitoquímicos presentes nas leguminosas (PADERMO, 2017).

1.5.1 Processamento térmico dos grãos imaturos de feijão-caupi

Estudos avaliando a composição centesimal nos grãos crus e cozidos têm sido mais realizados nos grãos secos de feijão-caupi. Bezerra et al. (2019), avaliando os grãos secos de oito cultivares de feijão-caupi mostraram que o teor de umidade aumento após o cozimento, ao passo que, os teores de cinzas, proteínas, carboidratos, valor energético e açúcares diminuíram em todas as cultivares cozidas. Quanto ao teor de lipídeos, a maioria das cultivares tiveram diminuição com o cozimento, mas as cultivares Costela de Vaca e Setentão tiveram aumentos com a cocção. Aumentos nos teores de lipídios nos grãos secos de feijão-caupi após o processamento térmico também foram observados nos estudos de Pinheiro (2013) e Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008), já Barros (2014) encontrou aumento no teor de lipídios apenas nos grãos secos da cultivar BRS Tumucumaque.

Estudos relacionados com a composição química de grãos imaturos de feijão-caupi após o cozimento ainda são escassos. Melo et al. (2017), avaliando os grãos imaturos de quatro cultivares, sendo a maioria biofortificadas, observaram redução no teor de proteína para as cultivares BRS Aracê, BRS Guariba e BRS Xiquexique, e aumento para a BRS Tumucumaque, sem diferença entre os tratamentos cru e cozido para a BRS Tumucumaque ou BRS Guariba. Segundo os autores, a redução no teor de proteína pode ser devida à perda durante o cozimento, uma vez que uma pequena quantidade de aminoácidos pode ter sido solubilizada na água de cozimento, causando uma diminuição no teor de proteína do grão. Esses autores reportaram também aumento no teor de lipídeos após o cozimento nas cultivares BRS Aracê, BRS Xiquexique e BRS Guariba, mas diminuição na cultivar BRS Tumucumaque, com diferença significativa entre as amostras de grãos crus e cozidos.

1.6 Conservação pós-colheita dos grãos imaturos de feijão-caupi

A qualidade nutricional e tecnológica é determinada pelo genótipo e influenciada pelos fatores ambientais que ocorrem durante o crescimento da planta e desenvolvimento da semente. Os inúmeros fatores ambientais que influenciam a qualidade do feijão incluem as altas e baixas temperaturas na fase de enchimento de grãos, manejo da cultura, beneficiamento e pós-colheita, condições de estocagem e tecnologia de processamento (DALLA CORTE et al., 2003). O teor de água dos grãos é, juntamente com a temperatura, o fator primordial na conservação dos grãos e sementes. Quando o teor de água é baixo (11 a 13% base úmida), a atividade vital (respiração) é diminuída e o metabolismo reduzido ao mínimo. A combinação de baixas temperaturas e baixo teor de água dos grãos é ideal para a armazenagem de sementes que necessitam da manutenção da sua qualidade (BRAGANTINI, 2005).

Os grãos imaturos de feijão-caupi têm um grande potencial para a expansão do consumo, como também para o processamento industrial nas formas de enlatamento, resfriamento e congelamento (SOUSA et al., 2015). SÁ et al. (2014) ao realizarem um experimento em três condições de armazenamento: ambiente natural, sem controle de temperatura; geladeira (8°C) e freezer (-10 °C) e pesaram a cada dois dias os recipientes para o cálculo da perda de massa fresca, observaram que no freezer os grãos imaturos de feijão não apresentaram mudança na cor, germinação e presença de fungos por 28 dias, independentemente do tipo de embalagem. A bandeja de isopor envolvida por PVC foi a embalagem que conservou melhor os grãos por até 14 dias em meio ambiente e 28 dias em geladeira.

A conservação dos grãos imaturos de feijão-caupi é uma forma de agregar valor, garantir seu consumo em qualquer época do ano, especialmente na entressafra, e difundir o seu consumo em outras regiões. Com esse objetivo Lima et al. (2003) definiram que os grãos de maturação ideal para o processamento (121 °C por 6 min) em frasco de vidro devem ser colhidos com, aproximadamente, 45 dias após floração, em estudo realizado com 12 linhagens de feijão-caupi verde.

Um outro processo visando a conservação do feijão-caupi imaturo por um período maior foi estudado por Medeiros (2004). O método consiste na desidratação dos grãos num processo combinado de pré-secagem em secador de bandeja, seguida de secagem final em secador de leito de jorro. A umidade final do feijão desidratado variou entre 17% e 20%. O produto para ser consumido precisa ser reidratado em água e preparado da mesma maneira que o feijão verde

fresco. A análise sensorial mostrou que não houve diferença significativa entre os grãos desidratados e os frescos em relação a aparência, odor e sabor.

O branqueamento é um método de conservação procedido pelo aquecimento rápido do alimento a uma dada temperatura durante um período especificado, geralmente de 1 a 10 minutos. Em seguida, o produto branqueado é imediatamente resfriado. O tempo necessário para o branqueamento de um produto depende dos fatores biológicos de cada alimento, bem como pelo período necessário para inativação das enzimas peroxidase e polifenoloxidase. Os principais objetivos desse método são a inativação enzimática e o controle microbiológico. No entanto, alguns outros benefícios são alcançados com a utilização do branqueamento, tais como a elevação na eficiência da extração de compostos bioativos, facilidade para proceder com o peeling de frutas e legumes, diminuição do ar intracelular dos vegetais, melhoramento nas taxas de desidratação, minimização do escurecimento enzimático, entre outras finalidades que afetam de forma benéfica a qualidade dos alimentos (XIAO et al., 2017).

Pesquisas referentes aos grãos imaturos pós processamento térmico são importantes, uma vez que esse alimento é geralmente consumido cozido. Os métodos de preparo do grão influenciam a qualidade sensorial e o valor nutricional do alimento. Como a forma cozida dessas leguminosas é a mais consumida, o aquecimento permite a utilização dos grãos, melhorando a digestão, a absorção de nutrientes e as características sensoriais (aparência, aroma, sabor e textura). Em geral, o processamento térmico afeta a qualidade nutricional dos grãos, com alterações observadas nos teores de macronutrientes, vitaminas, minerais e fitoquímicos (FERNANDES; CALVO; PROENÇA, 2012; TOLEDO; CANNIATTI-BRAZACA, 2008).

1.7 Embalagens utilizadas na conservação do feijão-verde

A valorização de vegetais frescos, como o feijão-caupi imaturo, tem demonstrado um crescimento nos últimos anos, favorecendo o aumento gradativo na aquisição destes produtos pelos consumidores. No entanto, tais alimentos não são livres de micro-organismos, sendo necessários processos que priorizem a segurança microbiológica e o controle restrito da temperatura (PEREIRA et al., 2021). Para que isso ocorra, diversas tecnologias foram desenvolvidas destinadas à conservação de produtos agrícolas frescos pós-colheita, como os métodos físicos: tratamento térmico (aquecimento), refrigeração e atmosfera modificada (DE LA VEJA; CAÑAREJO; PINTO, 2017).

As altas temperaturas contribuem para a redução dos micro-organismos, enquanto temperaturas mais baixas provocam inibição no desenvolvimento desses micro-organismos fitopatogênicos e deteriorantes (PEREIRA et al., 2021). No entanto, nessas técnicas e/ou métodos não ocorre esterilização do produto, havendo apenas redução moderada da microbiota presente, sendo exigido um processo rigoroso de refrigeração, para que se possa evitar o crescimento da carga microbiana patogênica e deteriorante (RINALDI; VIEIRA; FIALHO, 2015).

Os grãos imaturos de feijão-caupi apresentam um alto percentual de água e, conseqüentemente, uma alta perecibilidade, necessitando do emprego de métodos de conservação onerosos, quando comparados com os grãos secos. Considerando-se alto o consumo do feijão imaturo e a necessidade de sua disponibilidade no mercado, principalmente, por fazer parte de vários pratos da culinária nordestina, faz-se necessário o uso de métodos de processamento capazes de torná-lo disponível em todas as épocas do ano com o máximo do seu valor nutritivo e palatabilidade. A qualidade dos produtos vegetais é o resultado da união de diversos fatores, dentre os quais, a conservação tem um papel fundamental, principalmente, nos dias de hoje, onde o fator tempo é cada vez mais valorizado (LIMA et al., 2000).

Segundo Maharaj et al. (1999), os principais fatores limitantes no armazenamento de vegetais frescos são a senescência, deterioração por micro-organismos e transpiração. Por isso, grande atenção vem sendo dispensada à conservação pós-colheita de vegetais, visto que as perdas atingem índices entre 25 e 60% nos países em desenvolvimento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Dessa forma, procuram-se métodos e técnicas que visam diminuir as perdas pós-colheita de produtos hortícolas comercializados frescos, entre elas o uso de embalagens e ambiente de armazenamento (SÁ et al., 2014).

A embalagem está presente nos processos sociais, pois deriva da necessidade humana básica de se alimentar e a partir disso buscar meios para armazenar e conservar alimentos por mais tempo. As embalagens estão presentes em diversos setores, destacando-se a indústria de alimentos, em que elas têm como principal função contribuir para conservação e proteção do alimento, além de vender o produto. Dentre os materiais utilizados na fabricação de embalagens para alimentos têm-se os plásticos, metais, vidro e celulose. Cada um possui diferentes características para realizar a conservação do produto, dentre as principais propriedades desses materiais destacam-se: barreira a gases, aroma, luz, água, micro-organismos e resistência mecânica (FERREIRA, SILVA, 2019). Porém, o uso e descarte desordenado geram uma grande quantidade de resíduos sólidos, que estão associados ao impacto ambiental. Tendo em vista a

questão ambiental, entre esses meios destaca-se a reutilização e reciclagem das embalagens, bem como o desenvolvimento de plásticos verdes e biodegradáveis (LANDIM, et al. 2016).

O uso de embalagens tem o objetivo de preservar a qualidade do produto, pois cria barreira física entre produto e ambiente diminuindo a troca entre os dois. As embalagens mais utilizadas para feijão, embalagens tradicionais, podem ser fabricadas em diversos tipos, formatos e materiais. Essas embalagens estão distribuídas no mercado de acordo com a demanda da indústria e do consumidor para conter e manter os atributos sensoriais e nutricionais durante o armazenamento. Porém, elas podem ser ineficientes para manutenção da qualidade de feijão, já que não são capazes de promover barreira a gases e vapores, o que expõe o produto a atividades enzimáticas mais intensas (SOUSA et al., 2021). As embalagens mais comuns utilizadas para conservar os grãos imaturos de feijão-caupi sob resfriamento são as de plástico (polietileno) (Figura 4).



Figura 4. Grãos imaturos de feijão-caupi acondicionados em embalagem plástica (polietileno). Fonte: ww.google.com.br

Estudos sobre o efeito da embalagem na conservação de vagens e grãos imaturos de feijão-caupi são raros. Um estudo conduzido por Guimarães et al. (2018), avaliaram diferentes embalagens com atmosfera modificada (bandeja de poliestireno expandido envolto com filme esticável de policloreto de vinila e copo de tereftalato de polietileno) para conservação de vagens imaturas minimamente processadas e armazenadas em geladeira a 10°C durante três dias. Os autores verificaram que as duas embalagens auxiliaram na conservação das vagens

imaturas minimamente processadas, reduzindo a perda de massa fresca e o escurecimento enzimático.

Sá et al. (2014), avaliaram grãos imaturos em 4 tipos de embalagens: bandejas de isopor envolvidas por PVC, saco plástico, papel alumínio e pote de plástico com tampa, e quinze períodos de armazenamento 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 e 28 dias, combinada com três condições de armazenamento: ambiente natural, sem controle de temperatura; geladeira (8°C) e freezer (-10°C). Os autores concluíram que no freezer os grãos imaturos de feijão-caupi não apresentaram mudança na cor, germinação e presença de fungos por 28 dias, independentemente do tipo de embalagens. A bandeja de isopor envolvida por PVC foi a embalagem que conservou melhor os grãos por até 14 dias em meio ambiente e 28 dias em geladeira.

A ação de diferentes tratamentos pós-colheita e tempo de armazenagem sobre os micro-organismos presentes em grãos imaturos de feijão-caupi da variedade sempre-verde foi avaliada por Pereira et al. (2021). Os grãos imaturos foram avaliados com acondicionamento em embalagem (sacos plásticos de polietileno transparente - testemunha), acondicionamento em embalagem + refrigeração, acondicionamento em embalagem + vácuo + refrigeração, acondicionamento em embalagem + branqueamento (100°C/2min) + refrigeração e acondicionamento em embalagem + branqueamento (100°C/2min) + vácuo + refrigeração. Foram realizadas análises microbiológicas aos 10, 20 e 40 dias de armazenagem. Foram realizadas as observações da incidência de bactérias, e a identificação de fungos. Os autores verificaram que o pré-tratamento de branqueamento apresenta uma maior redução da diversidade de micro-organismos nos grãos imaturos de feijão-caupi após armazenagem, no entanto, não é capaz de eliminar completamente fungos produtores de micotoxinas e bactérias. O período ideal do ponto de vista de consumo seria de até 10 dias, tendo condições de no máximo 20 dias.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar a qualidade nutricional e funcional antes e após o processamento térmico e a conservação pós-colheita via branqueamento e congelamento em grãos imaturos de genótipos de feijão-caupi.

2.2 Específicos

- ✓ Avaliar a composição centesimal e mineral dos grãos imaturos crus e cozidos dos genótipos de feijão-caupi MNC00-595F-27, MNC05-847B-123, BRS Tumucumaque e Vagem Roxa-THE;
- ✓ Avaliar a composição centesimal e mineral dos grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos de feijão-caupi MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE;
- ✓ Avaliar o teor de compostos bioativos e a atividade antioxidante dos grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos de feijão-caupi MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE.
- ✓ Estimar a vida de prateleira e a melhor embalagem para a conservação dos grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos de feijão-caupi MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE.

3 METODOLOGIA

3.1 Protocolo experimental

Amostras dos grãos imaturos de feijão-caupi foram coletadas na fase de vagens imaturas, quando os grãos estão mais túrgidos (cheios), com umidade entre 50 e 65%, em um cultivo realizado no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI, no ano de 2021. Os grãos foram transportados para Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte para preparo e análise. Os genótipos foram representados por duas linhagens elite da classe comercial cores, subclasse verde (MNC00-595F-27 e MNC05-847B-123), selecionadas por seus bons atributos agronômicos e comerciais (SILVA et al., 2019), e duas cultivares comerciais da classe branca, subclasse branco liso (BRS Tumucumaque e Vagem Roxa-THE) (Figura 5). A cultivar Vagem Roxa-THE foi utilizada como padrão comercial para o mercado do feijão-verde. Os grãos foram selecionados manualmente para remover a sujeira e grãos de qualidade fora do padrão.



Figura 5. Grãos imaturos crus dos genótipos de feijão-caupi avaliados no estudo. Teresina/PI, 2021. Fonte: Dados da pesquisa.

As amostras dos grãos imaturos crus de feijão-caupi foram lavadas com água destilada e acondicionados em estufa a 60 °C por 48 horas. Após esse procedimento, os grãos foram triturados em moinho de bolas de zircônia (Retsch, MM200), com a finalidade de obtenção de uma farinha a ser utilizada para as análises. A farinha foi acondicionada em saco de polietileno e mantida em temperatura de refrigeração (4 °C) até o momento das análises, realizadas no dia seguinte. Portanto, os genótipos de feijão-caupi imaturos crus foram analisados em base seca e as análises foram realizadas em triplicata.

3.2 Cozimento dos grãos imaturos

O tempo de cocção dos grãos imaturos dos quatro genótipos de feijão-caupi (MNC00-595F-27, MNC05-847B-123, BRS Tumucumaque e Vagem Roxa-THE) foi determinado utilizando-se o cozedor de Mattson, conforme Mattson (1946), cronometrado em minutos e avaliado em triplicata. Utilizou-se uma amostra de 25 grãos de cada genótipo. O cronômetro foi acionado somente quando o cozedor de Mattson estava totalmente imerso no becker, com água em fervura (90 °C). O tempo de cocção foi anotado quando a décima terceira vareta de um total de vinte e cinco perfurava totalmente o grão.

Os grãos imaturos foram cozidos em uma proporção feijão/água de 1:3 (p/v), durante o tempo de cocção pré-determinado para cada genótipo. Posteriormente, os grãos foram separados do caldo de cocção, com auxílio de uma peneira de plástico e os feijões cozidos foram homogeneizados em gral com pistilo, segundo metodologia descrita por Pinheiro (2013), com algumas adaptações, pois, neste estudo, o caldo de cocção não foi homogeneizado junto com os grãos cozidos. Todas as amostras cozidas (Figura 6) foram acondicionadas em sacos de polietileno e armazenadas sob congelamento até o momento das análises, realizadas no dia seguinte. Portanto, os genótipos de feijão-caupi imaturos cozidos foram analisados em base úmida e as análises foram realizadas em triplicata.



Figura 6. Grãos imaturos cozidos dos genótipos de feijão-caupi avaliados no estudo. Teresina/PI, 2021. Fonte: Dados da pesquisa.

3.3 Branqueamento e congelamento dos grãos imaturos

As amostras de grãos imaturos de dois genótipos de feijão-caupi, MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE, foram branqueadas em uma proporção feijão/água de 1:2 (p/v) a uma temperatura de 90 °C por 5 minutos e posteriormente passaram por um resfriamento em banho de gelo, por um período de cinco minutos. Para a retirada do excesso de água utilizou-se peneira

plástica. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em embalagens laminada e de polietileno e armazenados sob congelamento (-18 °C) até o momento das análises.

Posteriormente, as amostras foram desidratadas em estufa a 60 °C por 48 horas. Após esse procedimento, os grãos foram triturados em moinho de bolas de zircônia (Retsch, MM200), com a finalidade de obtenção de uma farinha a ser utilizada para as análises. A farinha foi acondicionada em saco de polietileno e mantida em temperatura de refrigeração (4 °C) até o momento das análises, realizada no dia seguinte. Portanto, os genótipos de feijão-caupi imaturos branqueados e congelados foram analisados em base seca e as análises foram realizadas em triplicata.

3.4 Análise da composição centesimal

As análises da composição centesimal foram realizadas segundo a AOAC (2019) e foram realizadas em quatro genótipos de feijão-caupi, MNC00-595F-27, MNC05-847B-123, BRS Tumucumaque e Vagem Roxa-THE.

3.4.1. Umidade

O teor de umidade foi determinado por secagem em estufa com temperatura de 105 °C. Foram pesados 2,5 g das amostras trituradas e homogeneizadas, em triplicata, em cápsula de porcelana previamente taradas. As cápsulas com as amostras ficaram em estufa a 105° C até peso constante, em seguida no dessecador por 30 minutos e posteriormente foram pesadas. O teor de umidade (%) foi obtido pela fórmula:

Teor de umidade: $100 \times N / P$, na qual:

N: n° de grama de umidade (perda de massa em g);

P: n° de grama da amostra.

3.4.2. Cinzas

O teor de cinzas foi determinado por incineração em mufla à temperatura de 550 °C. Pesou-se 2,5 g da amostra triturada e homogeneizada, em triplicata, em cadinho previamente tarado. As amostras foram carbonizadas e incineradas em forno mufla a 550 °C por 4 h ou até peso constante. Para finalizar, os cadinhos com as amostras incineradas foram colocados em dessecador, para esfriar, por 40 min e foram pesados. O teor de cinzas (%) foi obtido pela fórmula:

Teor de cinzas: $100 \times N / P$, na qual:

N: n° de grama de cinzas;

P: n° de grama da amostra.

3.4.3. Proteínas

O teor de proteínas foi determinado pelo método de macro Kjeldahl, usando um destilador de nitrogênio, baseado na destruição da matéria orgânica (digestão) seguida de destilação, sendo o nitrogênio dosado por titulação. O fator 6,25 foi utilizado para converter o teor de nitrogênio total em proteínas. Para realizar a digestão, realizou-se a pesagem de 0,2 mg das amostras em tubo digestor, adicionando-se 2 g de catalizador e 2 mL de ácido sulfúrico concentrado. Depois a digestão foi realizada a 450 °C por 1h 40 min. Então, as amostras foram destiladas e tituladas para determinação do nitrogênio, posteriormente realizou-se o cálculo do conteúdo de proteínas (%), utilizando a fórmula:

Teor de proteína: $V \times 0,14 \times F / P$, na qual:

V: volume de ácido sulfúrico utilizado menos volume de hidróxido de sódio utilizado na titulação;

F: fator de conversão 6,25;

P: peso da amostra.

3.4.4. Lipídeos

A fração extrato etéreo, que corresponde aos lipídios foram obtidos em extrator intermitente de Soxhlet, utilizando-se o solvente éter de petróleo PA. Para extração, utilizou-se 2 g das amostras secas pesadas em triplicata, e foram colocadas em cartuchos de papel filtro e estes adicionados a 250 mL de éter de petróleo e mantidos em extração contínua por 6 h a 90 °C. Ao finalizar a extração, os tubos com o resíduo foram colocados em estufa a 105 °C, durante 1 h. Depois resfriado em dessecador e pesado. A quantidade de lipídios (%) foi obtido pela fórmula:

Teor de lipídios: $100 \times N / P$, na qual:

N: n° de grama de lipídios;

P: n° de grama da amostra.

3.4.5. Carboidratos

O teor de carboidratos foi determinado por diferença dos demais constituintes da composição centesimal, conforme a fórmula a seguir:

Carboidratos = $100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{lipídeos} + \text{proteínas})$

3.4.6 Valor Energético Total (VET)

O valor energético total (VET) foi calculado conforme Watt e Merrill (1963), usando os fatores de conversão Atwater (carboidratos = 4,0, lipídios = 9,0, proteínas = 4,0).

3.5 Análise de minerais

Para a análise de minerais, pesou-se 200 mg da amostra e transferiu-se para um tubo de digestão, sendo adicionados 5 mL da solução digestora (solução nitro-perclórica, 2:1). Os tubos então foram colocados no bloco digestor por aproximadamente duas horas até atingir 200 °C. Após a digestão, os extratos se apresentaram transparentes e límpidos e com um volume aproximado de 2 mL.

Após a etapa da digestão, os extratos dos macrominerais Ca, P, K e Mg foram avolumados com água destilada até 20 mL. Em seguida, usou-se 200 µL de cada extrato e transferiu-se para um tubo de ensaio, adicionando 3,5 mL de cloreto de estrôncio e 3,3 mL de água destilada, depois homogeneizou-se. Para a determinação dos elementos, adotou-se a técnica de espectrometria de absorção atômica (HORWITZ, 2000), com a leitura no espectro de absorvância atômica de chama, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o elemento a ser analisado no software do equipamento. Os valores das concentrações de Ca, K, P e Mg foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg 100g⁻¹.

Após a etapa da digestão, os extratos dos microminerais Fe, Zn e Mn foram avolumados com água destilada até 20 mL, em seguida homogeneizou e fez-se a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica de chama, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o comprimento de onda específico de cada elemento a ser analisado no software do equipamento. Os valores das concentrações de Fe, Zn e Mn foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg 100g⁻¹.

As análises de minerais foram realizadas em quatro genótipos de feijão-caupi, MNC00-595F-27, MNC05-847B-123, BRS Tumucumaque e Vagem Roxa-THE.

3.6 Análise do teor de fibras alimentares

O teor de fibras alimentares foi determinado de forma indireta, determinando-se o teor de amido pelo método ISI 27-1 (1999). Pesou-se 4 gramas da amostra, adicionou-se com auxílio de uma proveta 80 mL de água destilada em um erlenmeyer de 250 mL. Em seguida adicionou-se 0,2 mL de NaOH a 10% e levou-se à autoclave por 1 hora a 1 atm. Ao esfriar, transferiu-se para um becker de 100 mL e neutralizou-se com NaOH 10%, pH 7,0 a 7,2. A amostra foi

transferida para um balão volumétrico de 100 mL e completou-se até o menisco com água destilada. Depois de decantado, realizou-se a filtração e colocou-se o filtrado em bureta de 25 mL. Adicionou-se 5 mL de Fehling A, 5 mL de Fehling B e 40 mL de água destilada, em erlenmeyer, seguido do aquecimento em chapa aquecedora até entrar em ebulição. Manteve-se a ebulição e quando se iniciou a perda da coloração azul, adicionou-se 2 gotas de azul de metileno 1%. Prosseguiu-se com a titulação até a formação de um vermelho tijolo no fundo. O teor de amido (%) foi obtido pela fórmula:

Teor de amido (%) = $V \times f \times 100 \times 0,9 / v \times P$, na qual:

V: volume final da solução contendo a amostra;

v: volume de amostra gasto na titulação;

F: fator da solução de Fehling – 0,555;

P: gramas de amostra presente no volume V(4 g).

A determinação do teor de fibras alimentares foi realizada de maneira indireta, subtraindo umidade, cinzas, lipídeos, proteínas e amidos, segundo a fórmula a seguir:

Teor de fibras alimentares = $100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{lipídios} + \text{proteínas} + \text{amidos})$

A análise do teor de fibras alimentares foi realizada em dois genótipos de feijão-caupi, MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE.

3.7 Análise de compostos bioativos

As análises de compostos bioativos e atividade antioxidante foram realizadas na linhagem MNC00-595F-27 e na cultivar comercial Vagem Roxa THE branqueadas e congeladas. As amostras foram desidratadas em estufa a 60 °C por 48 horas. Após esse procedimento, os grãos foram triturados em moinho de bolas de zircônia (marca Retsch, modelo MM200), com a finalidade de obtenção de uma farinha a ser utilizada para as análises. A farinha foi acondicionada em saco de polietileno e mantida em temperatura de refrigeração (4 °C) até o momento das análises, realizada no dia seguinte. Portanto, os genótipos de feijão-caupi imaturos branqueados e congelados foram analisados em base seca e as análises foram realizadas em triplicata.

3.7.1 Carotenoides totais

A determinação do teor de carotenoides totais foi realizada como preconizado por Rodriguez-Amaya (2001). Pesou-se 3 g das amostras juntamente com 2 g de celite, em triplicata, transferindo-se para Erlenmeyer contendo 20 mL de acetona refrigerada, que foi

homogeneizada em mesa agitadora orbital por 10 minutos a 10 rpm. Procedeu-se a filtração a vácuo, em funil de Buchner, utilizando papel filtro, lavando-se as amostras com acetona até que o extrato ficasse incolor.

O filtrado foi transferido para um funil de separação, acrescentando-se 30 mL de éter de petróleo e 100 mL de água destilada. Descartou-se a fase inferior e repetiu-se o procedimento por quatro vezes para ocorrer a remoção total da acetona. O extrato superior foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL, completando-se o volume com éter de petróleo. Finalizou-se com a realização da leitura em espectrofotômetro a 450 nm, usando como branco o éter de petróleo para zerar o equipamento. O teor de carotenoides totais, expresso em μg de β -caroteno g^{-1} , foi calculado utilizando-se a equação a seguir:

Teor de carotenoides totais = $(\text{Abs} \times 50\text{mL} \times 106 / 100 \times \text{E1\% 1cm} \times \text{P})$, na qual:

Abs: Absorbância da amostra;

E1% 1cm: 2592 (coeficiente de absorvidade de β -caroteno em éter de petróleo);

P: peso da amostra.

3.7.2 Flavonoides e antocianinas

A determinação dos teores de flavonoides e antocianinas foi realizada segundo a metodologia de Francis (1982). Primeiro, pesou-se 3 g das amostras, em triplicata, em um Erlenmeyer envolto com papel alumínio, acrescentando 30 mL da solução de Etanol 95% + HCl 1,5M previamente elaborada (85:15). Procedeu-se com a homogeneização e transferência do conteúdo para um balão volumétrico de 50 mL (sem filtrar), envolto em papel alumínio, completando-se o volume com etanol 95% + HCl 1,5M (85:15). O material ficou em repouso por 24 h na ausência de luz e sob refrigeração. Posteriormente, o material foi filtrado e acondicionado em recipiente envolto com papel alumínio. Procedeu-se a leitura em espectrofotômetro a 535 nm para antocianinas e 374 nm para flavonoides amarelos. O branco foi composto pela solução de Etanol-HCL (1,5M). Para a determinação do teor de antocianinas totais, adotou-se a equação: $\text{absorbância} \times \text{fator de diluição} / 98,2$ e o resultado foi expresso em $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$.

Para calcular o fator de diluição, utilizou-se a gramatura da amostra (3 g) dividida pelo volume de diluição (50 mL). O resultado foi correlacionado para 1 mL (quantidade de g que tem em 1 mL da solução) e determinou-se a quantidade de mL em 100g. Para a determinação do teor de flavonoides, adotou-se a equação: $\text{absorbância} \times \text{fator de diluição} / 76,6$, seguindo o mesmo procedimento descrito acima para o fator de diluição, mudando apenas o comprimento de onda no espectrofotômetro que foi de 374 nm. O resultado foi expresso em $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$.

3.7.3 Ácido ascórbico (vitamina C)

O teor de vitamina C foi determinado pelo método titulométrico (BRASIL, 1986). Pesou-se 3 g das amostras, em triplicata, em erlenmeyer, adicionando-se 50 mL da solução de ácido oxálico. Depois, a solução foi agitada manualmente e titulada com solução de 2,6-diclorofenolindofenol de sódio até ficar coloração rosa persistente. Para preparar o padrão, pipetou-se 10 mL da solução padrão de ácido ascórbico em erlenmeyer contendo 50 mL de solução de ácido oxálico, que foi titulado com solução de 2,6-diclorofenolindofenol de sódio até coloração rosa persistente. Para o cálculo do teor de ácido ascórbico, utilizou-se a seguinte equação:

Teor de ácido ascórbico = $100 \times n' / (n/5) \times P$, na qual:

AA: Teor de ácido ascórbico em mg 100 mL^{-1} ou mg 100g^{-1} ;

n': Volume de 2,6-diclorofenolindofenol de sódio em mL gastos na titulação da amostra;

n: Volume de 2,6-diclorofenolindofenol de sódio em mL gastos na padronização;

P: Massa da amostra em grama ou volume de amostra usado na titulação.

3.8 Obtenção dos extratos para análise de fenólicos totais e atividade antioxidante

Os extratos de feijão-caupi imaturo branqueados e congelados foram obtidos usando solventes de diferentes polaridades: água, etanol e acetona (SOUSA; VIEIRA; LIMA, 2011), resultando nos extratos aquoso, etanólico e acetônico, respectivamente. Pesou-se 5 g de cada amostra e adicionou-se 75 mL de cada solvente. As amostras e os solventes foram homogeneizados, seguido de ultrassom em banho-maria (ELMA, Elmasonic P60 H, frequência: 37 KHz, Alemanha), temperatura: 25 °C, por 1 hora. Depois, as amostras foram filtradas e o sobrenadante de cada solvente foi coletado e armazenado em frasco vidro âmbar sob refrigeração a $\pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ para as posteriores análises.

3.8.1 Análise de fenólicos totais (Polifenóis)

A determinação do teor de fenólicos totais seguiu a metodologia descrita por Swain e Hills (1959). Inicialmente, as amostras foram solubilizadas em água destilada. Das soluções preparadas foram retirados uma alíquota de 0,5 mL e transferidos para tubos de ensaio, adicionando 8 mL de água destilada e 0,5 mL do reagente Folin Ciocalteau 20% (v:v). Em seguida, a solução foi homogeneizada em agitador tipo vortex, após 3 minutos, acrescido 1 mL de solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 20% (m:v) e após 1 h em banho maria a 37°C

foram realizadas as leituras das densidades óticas em espectrofotômetro à 720 nm. Utilizou-se como padrão de referência o ácido gálico marca Sigma®, para construção da curva de calibração. A partir da equação da reta ($y = 4,0288x + 0,0025$. $R^2 = 0,9995$) obtida na curva de calibração, realizou-se o cálculo do teor de fenólicos totais, expresso em mg EAG (equivalente ao ácido gálico) g^{-1} de amostra). Todas as análises foram realizadas em triplicata. Para construção dos gráficos e análises estatísticas, utilizou-se o programa GraphPad Prism 7.0®.

3.8.2 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH

Para a determinação da atividade antioxidante pelo método de sequestro do radical livre DPPH, inicialmente adicionou-se 1,5 mL da solução etanólica do radical DPPH* ($6 \times 10^{-5} M$) e uma alíquota de 0,5 mL das amostras contendo diferentes concentrações de cada extrato. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 517 nm, após 30 minutos do início da reação. As determinações foram feitas em triplicata acompanhada de um controle negativo (sem antioxidante) e dois controles positivos (padrões: ácido ascórbico e Trolox®, natural e sintético, respectivamente). A queda na leitura da densidade ótica das amostras foi correlacionada com o controle (somente o radical), estabelecendo-se a porcentagem de descoloração do radical DPPH* conforme a seguinte fórmula:

% de inibição do radical DPPH* = $[(Ab_{S_{controle}} - Ab_{S_{amostra}}) / Ab_{S_{controle}}] \times 100$, na qual:
Abs: absorvância.

Além do percentual de proteção, calculou-se a concentração eficaz para inibir 50% do radical DPPH* (CE_{50}) (BRAND-WILLIAMS et al., 1995; VIEIRA et al., 2011).

3.8.3 Determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS

O radical ABTS^{•+} foi gerado a partir da reação de 7 mM de ABTS com 2,45 mM de persulfato de potássio, sendo reservados à temperatura ambiente e na ausência de luz, por 12-16 horas. Transcorrido esse período, a solução foi diluída em etanol P.A., até se obter uma solução com absorvância de 0,70 ($\pm 0,01$). Adicionou-se 40 μL das amostras diluídas (em etanol) a 1960 μL da solução contendo o radical, determinando-se a absorvância em espectrofotômetro a 734 nm, após 30 minutos de reação (RE et al., 1999, adaptado por LIMA, 2008). Como solução padrão, usou-se o antioxidante sintético Trolox® análogo da vitamina E, para construção de uma curva de calibração ($y = -0,622x + 0,6554$ $R^2 = 0,9998$). Todas as leituras foram realizadas em triplicata, e os resultados foram expressos

em TEAC – Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox® (mM de Trolox® por mg/amostra) e CE₅₀ (concentração da amostra eficaz para inibir 50% do radical ABTS^{•+}).

3.9 Vida de prateleira dos grãos imaturos branqueados sob congelamento

Os grãos imaturos da linhagem MNC00-595F-27 e da cultivar comercial Vagem Roxa-THE, após o branqueamento, foram embaladas e congeladas para avaliação da vida de prateleira tendo como base a vida de prateleira de grãos imaturos comercializados no mercado, que é de seis meses para produtos congelados.

Os grãos imaturos branqueados dos dois genótipos de feijão-caupi foram embalados em embalagem plástica convencional (500 g) e em embalagem laminada (saco stand up pouch metalizado zip – 250g), selados e armazenados sob congelamento em freezer vertical Electrolux modelo FE26 Super a -18 °C até o momento das análises de composição centesimal, minerais e microbiológicas, realizadas mensalmente durante seis meses.

Logo após o branqueamento e o congelamento (tempo 0) foram realizadas análises de composição centesimal, fibras, minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante. No primeiro mês de armazenamento (tempo 1) foram realizadas análises de composição centesimal, de minerais e de Presença de *Salmonella* sp, número mais provável (NMP) de coliformes a 35 °C e 45 °C. Do segundo (tempo 2) ao sexto meses (tempo 6) de armazenamento foram realizadas as análises de composição centesimal, de minerais e bactérias mesófilas e psicotróficas.

3.10 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27 e da cultivar comercial Vagem Roxa-THE compreenderam a presença de *Salmonella* sp., o número mais provável de coliformes a 35°C e 45°C, e a contagem padrão em placas de bactérias mesófilas e psicotróficas, baseadas nas metodologias descritas pela American Public Health Association (APHA, 2001), Instrução Normativa n° 161 de 01 de julho de 2022 (BRASIL, 2022) e RDC n° 724 de 01 de julho de 2023 (BRASIL, 2023).

Das amostras de grãos branqueados e congelados dos dois genótipos de feijão-caupi foram retirados e pesados assepticamente 10 gramas e adicionados a 100 mL de solução salina peptonada a 0,1%, obtendo-se assim uma diluição inicial de 10⁻¹ e, a partir dessa diluição, prepararam-se diluições decimais até 10⁻³.

3.10.1 Pesquisa de *Samonella* sp

Para a detecção de *Salmonella* sp., fez-se o pré-enriquecimento transferindo-se 10 g das amostras de feijão para 100 mL de solução salina peptonada tamponada incubando-se a 35 °C por 20 horas. Para o enriquecimento seletivo, utilizou-se o caldo Rappaport-Vassiliadis e caldo selenito cistina, transferindo-se 0,1 mL e 1,0 mL, respectivamente, sendo incubados a $41 \pm 0,5^\circ\text{C}$ com circulação contínua de água por 24 horas. No isolamento, utilizaram-se o ágar Hectoen Enteric (HB) e ágar Salmonella-Shigella (SS) e os inóculos foram incubados a 37 °C por 24 horas. As colônias características foram transferidas para os meios ágar tríplexes açúcar-ferro e ágar lisina-ferro para caracterização bioquímica preliminar.

3.10.2 Número mais provável de coliformes totais a 35 °C e 45 °C

A determinação do número mais provável de coliformes totais foi realizada pelo método de fermentação em tubos múltiplos; utilizando-se séries de três tubos nos procedimentos presuntivos inoculando 1,0 mL de cada diluição no caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) e o caldo lactose verde brilhante (LBVB) a 2,0 % lactose para os testes confirmativos, com incubação a $36,0 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 a 48 horas. A confirmação da presença de coliformes a 45 °C foi realizada por meio da inoculação das colônias suspeitas em caldo EC e posterior incubação em temperatura seletiva de $45 \pm 0,2^\circ\text{C}$, em banho-maria com agitação constante por 24 horas.

3.10.3 Contagem de bactérias mesófilas e psicotrópicas

Para a quantificação de mesófilos, realizou-se a contagem padrão em placas utilizando-se técnica de semeadura em meio sólido “Pour Plate” (método por profundidade). Foram feitas diluições decimais seriadas selecionadas (10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3}), adicionados 1 mL dos inóculos em placas de petri esterilizadas e após adicionados 15 mL de Ágar Padrão para Contagem (PCA), homogeneizou-se com movimentos em formato de “8”, esperou-se solidificar e foram incubadas em estufa à 36 °C por 48 horas. Após esse período, obteve-se a leitura de 25 a 250 colônias (colônias circulares de coloração creme à amarelo escuro) e contagem em unidades formadoras de colônia (UFC g^{-1}).

Para a quantificação de psicotrópicas, realizou-se o mesmo procedimento para quantificação de mesófilos com incubação invertida sob refrigeração (7 °C por 7 dias). Após esse período, obteve-se a leitura de 25 a 250 colônias (também colônias circulares de coloração creme à amarelo escuro) e contagem em UFC g^{-1} .

3.11 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análises de variância, as médias entre genótipos, dependendo do número, foram comparadas pelos testes de Tukey e t ($p < 0,05$) e as médias entre as formas crua e cozida de cada genótipo, pelo teste t ($p < 0,05$). No estudo de vida de prateleira, as médias entre genótipos foram comparadas pelo teste t ($p < 0,05$) e as médias entre os diferentes tempos de armazenamento, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), além de análise de regressão para o período de armazenamento sob congelamento. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2012).

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4 ed., Washington: APHA, 2001. 676 p.

ANDRADE, F. N. **Avaliação e seleção de linhagens de tegumento e cotilédone verdes para o mercado de feijão-caupi verde**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RODRIGUES, E. V.; SILVA, L. R. A. Potencial nutricional e culinário de linhagens de tegumento e cotilédone verdes para o mercado de feijão-caupi verde. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO, 4., Teresina, 2011. **Anais...** Teresina/Rio de Janeiro: Embrapa Meio-Norte/Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, ANDRADE, R. S. G. Determinação e distribuição de ácido ascórbico em três frutos tropicais. **Eclética Química**, v. 27, p. 1-9, 2002.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos: uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 232-240, 2007.

AZULAY, M. M. et al. Vitamina C. In: Congresso Brasileiro de Dermatologia. Rio de BARATA-SOARES, A. D.; GOMEZ, M. L. P. A.; MESQUITA, C. H. de; LAJOLO, F. M.

Acid ascorbic biosynthesis: a precursor study on plants. **Brazilian Journal of Plant Nutrition Research**, v. 12, n. 18, p. 1995-2018, 1998.

BARATA-SOARES, A.D.; GÓMEZ, M.L.P.A.; MESQUITA, C.H.; LAJOLO, F.M. Ascorbic acid biosynthesis: a precursor study on plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16, p.147-154, 2004.

BARRETO, G. P. M. et al. Bioactive compounds from several tropical fruits and correlation by multivariate analysis to free radical scavenger activity. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 10, p. 1856-1861, 2009.

BARROS, N. V. A. **Influência do cozimento na composição centesimal, minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante de cultivares de feijão-caupi**. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

BARROS, N. V. A.; ROCHA, M. M.; GLÓRIA, M. B. A.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Effect of cooking on the bioactive compounds and antioxidant activity in grains cowpea cultivars. **Ciência Agronômica**, v. 28, n. 5, p. 824-831, 2017.

BARROS, N. V. A.; LEAL, M. J. B.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Composição química de cultivares biofortificadas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI, 3., Recife, 2013. **Anais...** Recife: IPA, 2013.

BENINGER, C. W.; HOSFIELD, G. L. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 27, p. 7879-7883, 2003.

BEZERRA, J. M. **Quantificação de compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi**. 2015, 53 f. (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2015.

BEZERRA, J. M.; VIEIRA, M. M. S.; SANTOS, A. F.; FARIAS, E. T. G.; LOPES, M. F.; SOUZA, A. S. Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. **Revista Verde**, v. 14, n. 1, p. 41-47, 2019.

BOIAGO, N. P.; FORTES, A. M. T.; KULZER, S. R.; KOELLN, F. T. S. Potencial fisiológico de sementes armazenadas de cultivares de feijão-caupi produzidas no estado do Paraná. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 21-32, 2013.

BRAGANTINI, C. Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 187).

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 724 de 01 de julho de 2023**. Dispõe sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação. Diário Oficial da União, de 06 de julho de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa IN nº 161 de 01 de julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Diário Oficial da União, de 06 de julho de 2022.

BURATTO, J. S. **Teores de Minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos**. 2012. 147f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

BYERS, T.; PERRY, G. Dietary carotenes, vitamin C, and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. **Annual Review of Nutrition**, v. 12, p. 139-159, 1992.

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUVEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; LIMA, G. P. G.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. F. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1-2, p. 81-88, 2012.

CARVALHO, M.; CARNIDE, V.; SOBREIRA, C.; CASTRO, I.; COUTINHO, J. BARROS, A.; ROSA, E. Cowpea immature pods and grains evaluation: an opportunity for different food source. **Plants**, v. 11, p. 1-15, 2022.

CAVALCANTE, R. B. M.; ARAÚJO, M. A. M.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; MOREIRA-ARAÚJO R. S. R. Effect of thermal processing on total polyphenol content in the grain of cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 806-810, 2017a.

CAVALCANTE, R. B. M.; ARAÚJO, M. A. M.; ROCHA, M. M.; MOREIRA-ARAÚJO R. S. R. Effect of thermal processing on chemical compositions, bioactive compounds, and antioxidant activities of cowpea cultivars. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1050-1058, 2017b.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

COSTA, N. M. B.; ROSA, C. O. B. **Alimentos funcionais: componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2016. 504 p.

COSTA, N. Q. **Características nutritivas e sensoriais de formulações de baião-de-dois elaboradas a partir de arroz integral e feijão-caupi biofortificados**. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 6ª ed. Barueri: Editora Manole, 2020. 960 p.

DALLA CORTE, A. et al. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 193-202, 2003.

DE LA VEJA, J. C.; CAÑAREJO, M. A.; PINTO, N. S. Avances en tecnología de atmósferas controladas y sus aplicaciones en la industria. Una revisión. **Información Tecnológica**, v.28, n.3, p.75-86, 2017.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

DREOSTI, I. E. Antioxidant polyphenols in tea, cocoa, and wine. **Nutrition**, v. 7- 8, n. 16, p. 692-694, 2000.

ELHARDALLOU, S. B. Amino acid composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) flour and its protein isolates. **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, p.790-797, 2015.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Feijão-Caupi: cultivares ricas em ferro e zinco**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2010. Folder. Disponível em: <http://cnptia.embrapa.br>.

ETCHEVERRY, P.; GRUSAK, M. A.; FLEIGE, L. E. Application of in vitro bioaccessibility and bioavailability methods for calcium, carotenoids, folate, iron, magnesium, polyphenols, zinc, and vitamins B(6), B(12), D, and E. **Frontiers in Physiology**, v. 3, p. 317, 2012.

FAMATA, A. S. et al. Chemical composition and mineral element content of two cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) varieties as food supplement. **International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics**, v. 3, n. 4, p. 93-96, 2013.

FERNANDES, A. C.; CALVO, M. C. M.; PROENÇA, R. P. C. Técnicas de pré-preparo de feijões em unidades produtoras de refeições das regiões Sul e Sudeste do Brasil. **Revista de Nutrição**, v. 25, n. 2, p. 259-269, 2012.

FERREIRA, M. C.; SILVA, J. S. G. Embalagens biodegradáveis: um estudo sobre as vantagens e desvantagens no setor de alimentos. 7º SDS – **Simpósio Desing Sustentável**. Recife, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of Food Insecurity in the World: Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition**. Roma: FAO, 2012. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/016/i3027e/i3027e.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2023.

FREIRE FILHO, F. R. (Ed.). **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.

FREIRE-FILHO, F. R. et al. Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 3, p. 286-290, 2007.

FURTUNATO, A. A.; MAGALHÃES, M. M. A.; MARIA, Z. L. A. Estudo do feijão verde (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 299-301, 2000.

GUIMARÃES, P. V.P.; DURIGAN, M. F. B.; MARQUES, C. S. Conservação pós-colheita de vagem de feijão-caupi minimamente processada em diferentes embalagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 9., CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 6., 2018. **Anais...**Viçosa: UFV, 2018.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.

HORWITZ, W. (Ed.). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17 ed. Washington: AOAC, 2000.

KALPANADEVI, V.; MOHAN, V. R. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. unguiculata. **Food Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 455-461, 2013.

KENNEDY, G., NANTEL, G., SHETTY, P. The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. **Food, Nutrition and Agriculture**, v. 32, p. 8-16, 2003.

LANDIM, A. P. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 2016.

LI, F. et al. Antioxidant activity of gallic acid from rose flowers in senescence accelerated mice. **Life Sciences**, v. 77, n. 2, p. 230-240, 2005.

LIMA, E. D. P. A. et al. 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**, v. 7, n. 1, p. 129-134, 2003.

LIMA, E. D. P. A. Feijão-caupi verde, minimamente processado: aspectos de conservação. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2009, Belém, PA. **Da agricultura de subsistência ao agronegócio: anais**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 73-84. 1 CD-ROM.

LIMA, N. L. et al. Estudo sobre a conservação de quatro variedades de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* L. Walp.): submetidos a temperaturas de refrigeração e congelamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 2, p. 57-69, 2000.

LIMA, S. C.; MAGALHÃES, R.; FONSECA, L. F.; CARVALHO, A. **Segurança Alimentar e nutricional na comunidade dos países de língua portuguesa: desafios e perspectivas**. Rio de Janeiro, Fio Cruz /IHMT, 2013.

LOPES, R. M. et al. Flavonoides. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, v. 3, n. 14, p. 18-22, 2000.

LUTHRIA, D. L.; PASTOR-CORRALES, M. A. Phenolic acid content of fifteen dry edible beans (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 2-3, p. 205-211, 2005.

MAHARAJ, R.; ARUL, J.; NADEAU, P. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, n. 1, p. 13-23, 1999.

MARATHE, S. A. et al. Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India. **Food and Chemical Toxicology**, v. 49, n. 9, p. 2005-2011, 2011.

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

MAZZA, G.; MINIATI, E. **Anthocyanins in fruits, vegetables and grains**. 1^o edition. Boca Raton: CRS Press, 1993. 384 p.

MEDEIROS, U. K. L. **Estudo da secagem de feijão verde (*Vigna unguiculata* L. Walp.): análise experimental do processo combinado leito fixo/leito de jorro**. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

MELO, N. Q. C.; MOREIRA-ARAÚJO R. S. R.; ARAÚJO, M. A.; ROCHA, M. M. Chemical characterization of green grain before and after thermal processing in biofortified cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 811-816, 2017.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; SAMPAIO, G. R.; SOARES, R. A. M.; SILVA, C. P.; ARAÚJO, M. A. M.; ARÊAS, J.A. G. Identification and quantification of phenolic compounds and antioxidant activity in cowpeas of BRS Xiquexique cultivar. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 209- 216, 2018.

NUNES, L. N.; SILVA, S. M. S.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Composição química de grãos verdes de genótipos de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio: anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

OJWANG, L. O.; DYKES, L.; AWIKA, J. M. Ultra performance liquid chromatography – tandem quadrupole mass spectrometry profiling of anthocyanins and flavanols in cowpea (*Vigna unguiculata*) of varying genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 3735-3744, 2012.

OLIVEIRA, D. S. V. **Caracterização química, minerais, tempo de cocção e produtividade de genótipos de feijão-caupi**. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

OLIVEIRA, J. M. S. **Composição centesimal e mineral de genótipos de feijão-caupi tipo fradinho**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2018.

OLIVEIRA, M. **Temperatura de secagem e condições de armazenamento sobre propriedades da soja para consumo e produção de biodiesel**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

OLIVEIRA, R. L. et al. Determinação de umidade, cinzas e fósforo em quatro variedades de feijão-caupi. **Química: Ciência, Tecnologia e Sociedade**, v. 4, n. 2, 2015.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; LONDERO, P. M. G. Qualidade nutricional e microbiológica de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido com ou sem água de maceração. **Ciências Agrotecnológicas**, v. 32, n. 6, p. 1912-1918, 2008.

PADERMO, S. S. H. **Influência do processamento e do processo digestivo in vitro na bioacessibilidade de compostos fenólicos do feijão comum**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

PEREIRA, C. S.; SILVA, V. V. S.; COSTA, J. A. C.; ROCHA, R. S.; PESSOA, W. R. L. S.; MARTINS, J. V. S. Avaliação microbiológica de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) imaturo sob diferentes tratamentos pós-colheita. **Ensaios e Ciência**, v. 25, n. 1, p. 50-54, 2021.

PEREIRA, E. J. **Estudo da composição em macronutrientes, retenção e bioacessibilidade de ferro e zinco em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) em grãos crus e após o cozimento**. 2014. 115 f. Tese (Doutorado em Farmácia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Farmácia, Rio de Janeiro, 2014.

PEREIRA, T. C.; SARON, M. L. G.; CARVALHO, W. A.; VILELA, M. M.; HOEHR, N. F.; RESSEL, G. Research on zinc blood levels and nutritional status in adolescents with autoimmune hepatitis. **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 48, n. 1, p. 62-65, 2011.

PETERSON, J.; DWYER, J. Flavonoids: dietary occurrence and biochemical activity. **Physiology**, v. 16, n. 3, p. 147-154, 2004.

PINHEIRO, E. M. **Caracterização química, poder antioxidante e efeito do cozimento de genótipos de feijão-caupi**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

QUINTAES, K. D.; DIEZ-GARCIA, R. W. **The importance of minerals in the human diet**. In: GUARDIA, M. GARRIGUES, S. (Eds.), Handbook of mineral elements in food, 2015.

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

RINALDI, M. M.; VIEIRA, E. A.; FIALHO, J. F. Conservação pós-colheita de diferentes cultivares de mandioca submetidas ao processamento mínimo e congelamento. **Científica**, v. 43, n. 4, p. 287- 301, 2015.

ROCHA, M. M. Tecnologia pós-colheita. In: **Feijão-caupi**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2021. (Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Árvores do conhecimento). Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pos-producao/tecnologia-pos-colheita>>. Acesso em: 27 de fev. 2023.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Human Nutrition Institute, 2001.

ROMAÑA D. L.; OLIVARES, M.; BRITO, A. Prevalence of micronutrient deficiencies in Latin America and the Caribbean. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 36, n. 2, S95-S97, 2015.

SÁ, L. G.; SANTOS, M. R.; BORTOLUZZI, R.; NETO, S. W. R. Armazenamento de feijão verde em diferentes embalagens e ambientes. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, 2014.

SALGADO, S. M. et al. Caracterização físico-química do grânulo do amido do feijão-caupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 525-530, 2005.

SANTOS, M. S. **Efeitos das condições de armazenamento sobre parâmetros de avaliação tecnológicos e nutricionais de feijão-caupi de tegumento branco**. 2016. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Pelotas, 2016.

SAS - Statistical Analysis System. **SAS/STA User's Guide: statistics**. Version 9.1. edition. Cary NC: SAS Inc., 2012.

SILVA, C. R. M.; NAVES, M. M. V. Suplementação de vitaminas na prevenção de câncer. **Revista de Nutrição**, v. 31, n. 2, p. 135-143, 2001.

SMIRNOFF, N. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multifaceted molecule. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 3, n. 3, p. 229-235, 2000.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição da PUCCAMP**, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOUSA, G. A.; HERNANDES, E. E.; DAMASCENO, S. S.; MATTAR, E. P. L.; SIVIERO, A. QUALIDADE DE FEIJÃO-CAUPI CRIOULO DO ALTO JURUÁ ARMAZENADO EM EMBALAGEM A VÁCUO. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 2, n. Edição especial, 2021.

SOUSA, J. L. M.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NEVES, A. C.; SOUSA, R. R. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 392-398, 2015.

SOUSA, T. J. F. et al. Simultaneous selection for yield, adaptability, and genotypic stability in immature cowpea using REML/BLUP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e01234, 2019.

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**, v. 28, n. 2, p. 355-360, 2008.

VASCONCELOS, I. M. et al. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, p. 54-60, 2010.

VIEIRA, M. M. S.; BEZERRA, J. M.; SANTOS, A. F. Avaliação dos compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) imaturo cru, cozido e seus caldos de cocção. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e3710716243, 2021.

WATT, B.K.; MERRILL, A.L. **Composition of foods: raw, processed, prepared**. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture. Agricultural. Handbook No. 8. 1963

WELCH, R.; HOUSE, W.; BEEBE, S.; CHENG, Z. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 3576-3580, 2000.

WESSELLS, K. R.; BROWN, K. H. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting. **PLoS ONE**, v. 7, n. 11, p. 1-11, 2012.

XIAO, H. W.; PAN, Z.; DENG, L. Z.; EL-MASHAD, H. M.; YANG, X. H.; MUJUMDAR, A. S.; GAO, Z. J.; ZHANG, Q. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. **Information Processing in Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 27-101, 2017.

XU, B.; CHANG, S. K. C. Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavanol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 11, p. 4754-4764, 2009.

ZIA, U.; MACKAY, D. F.; FENWICK, E.; PELL, J. P. Meta-analysis of the association between body mass index and health-related quality of life among adults, assessed by the SF-36. **Obesity**, v. 21, n. 3, p. 322-327, 2013.

CAPÍTULO 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

ARTIGO 1

CHEMICAL AND MINERAL COMPOSITION OF THE RAW AND COOKED IMMATURE GRAINS OF COWPEA GENOTYPES

Fernanda de O. Gomes¹, Izabel C. V. Silva², Kaesel J. Damasceno-Silva³, Luis José Duarte Franco³, Maurisrael
de Moura Rocha

¹Department of Nutrition, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brazil

² Department of Plant Science, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brazil

³Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brazil

*Corresponding author: maurisrael.rocha@embrapa.br



Submetido ao periódico: *Revista Caatinga*

Qualis Scopus 2021: A4

Qualis CAPES 2017-2021: A4

ABSTRACT - Cowpea immature grains are a rich source of proteins, minerals, dietary fiber, and phenolic compounds, and have a high antioxidant capacity compared to dry grains. Its consumption will promote a healthy and diversified diet. The objective of this work was to evaluate the cooking time and chemical and mineral composition of the raw and cooked immature grains of cowpea genotypes. Four genotypes, two elite lines (MNC00-595F-27 and MNC05-847B-123) and two commercial cultivars (BRS-Tumucumaque and Vagem Roxa-THE) were analyzed. Cooking time was evaluated by the Mattson cooker. Proximate composition and minerals were determined. From the data, analysis of variance was performed and the averages between genotypes were compared by Tukey's test ($p < 0.05$) and, between the raw and cooked forms of each genotype, by the student's t-test ($p < 0.05$). The genotypes MNC05-847B-123 and BRS-Tumucumaque differed from the other genotypes, presenting faster cooking of the immature grain. Cooking increased moisture content and reduced ash, lipid, protein, carbohydrates, and total energy value. The lines MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 showed higher contents of the nutrients of the centesimal composition after cooking in relation to the control (Vagem Roxa-THE), except for the moisture content. The mineral content decreased after cooking, with iron, zinc and manganese having the least losses with thermal processing. The lines MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 even with losses, after the thermal processing of the immature grain, present nutritional potential as cultivars for the green-bean market.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Green-bean. Proximate composition. Minerals. Thermal processing.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERAL DOS GRÃOS IMATUROS CRUS E COZIDOS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI

RESUMO - Os grãos imaturos do feijão-caupi constituem-se em uma rica fonte de proteínas, minerais, fibras alimentares e compostos fenólicos, apresentando também alta capacidade antioxidante em relação aos grãos secos. O seu consumo promoverá uma alimentação saudável e diversificada. O objetivo deste trabalho foi avaliar o tempo de cozimento e a composição química e mineral dos grãos imaturos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi. Foram analisados quatro genótipos, sendo duas linhagens elite (MNC00-595F-27 e MNC05-847B-123) e duas cultivares comerciais (BRS Tumucumaque e Vagem Roxa-THE). O tempo de cozimento foi avaliado por meio do cozedor de Mattson. Foram determinados a composição

centesimal e os minerais. A partir dos dados foram realizadas análises de variância e as médias entre genótipos foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) e, entre as formas crua e cozida de cada genótipo, pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Os genótipos MNC05-847B-123 e BRS Tumucumaque diferiram dos demais genótipos, apresentando cocção do grão imaturo mais rápida. A cocção aumentou os teores de umidade e reduziu os teores de cinzas, lipídios, proteínas, carboidratos e valor energético total. As linhagens MNC05-847B-123 e MNC00-595F-27 apresentaram teores mais elevados dos nutrientes da composição centesimal após o cozimento em relação à testemunha (Vagem Roxa-THE), exceto para o teor de umidade. O teor de minerais diminuiu após o cozimento, sendo o ferro, o zinco e o manganês os que tiveram menos perdas com o processamento térmico. As linhagens MNC05-847B-123 e MNC00-595F-27 mesmo com perdas, após o processamento térmico do grão imaturo, apresentam potencial nutricional como cultivares para o mercado de feijão-verde.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Feijão-verde. Composição centesimal. Minerais. Processamento térmico.

INTRODUCTION

From African origin, cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is considered an important component in the diet of populations in developing countries in Africa, Latin America, and Asia. In regions prone to malnutrition in sub-Saharan African countries, cowpea has become a strategic leguminous crop in combating food insecurity and malnutrition (MEKONNEN et al., 2022). It is a crop of great socioeconomic importance in the Northeast region of Brazil, as it generates employment and income and is an excellent source of proteins, minerals, vitamins, and dietary fiber, contributing to the food security of thousands of people (MARTINS et al., 2023).

The world cowpea area, production and yield in 2021 was 16.2 million hectares, 9.6 million tons and 603 kg ha^{-1} , respectively. The largest world producers are Niger, Nigeria, Burkina Faso, and Brazil (FAOSTAT, 2022; CONAB, 2022). In Brazil, 2021/2022 agricultural year, cowpea occupied an area of 1.3 million hectares, with a production of 623.800 tons and a yield of 462 kg ha^{-1} . The largest national producers are the states of Bahia (113,500 tons), Ceará (103,500 tons), Tocantins (96,700 tons), Piauí (83,500 tons.) and Mato Grosso (75,700 tons) (CONAB, 2022).

Cowpea is a very versatile crop in terms of cultivation, marketing and consumption. Three market segments for cowpea stand out in Brazil: dry beans, green-bean (pods to obtain the immature grain or the immature grain already threshed) and seeds. In addition to these markets, there are also those for snap bean (Yard-long bean) and processed bean (FREIRE FILHO et al., 2017; SOUSA et al., 2015; SOUSA et al., 2019).

The pods and immature grains of cowpea proved to be a rich source of proteins, minerals and phenolics, also showing a high antioxidant capacity in relation to dry grains of the species and other legumes. Its consumption will promote a healthy and varied diet. Furthermore, the production of immature pods and grains requires a shorter cultivation period compared to dry grains, allowing the crop to escape from various abiotic stresses (drought and high temperatures) imposed by climate change (CARVALHO et al., 2022).

The green-bean market is growing every day in Brazil, mainly in the Northeast region of Brazil, where immature bean is traditionally consumed in practically all states in the Northeast region of the country (SOUSA et al., 2019). In this region it is highly appreciated, being used as the main component of several typical dishes, especially “baião-de-dois”, a tasty combination of rice and bean (SILVA et al., 2013; VIEIRA; BEZERRA; SANTOS, 2021). The processing of frozen or canned immature grains is very promising and represents an alternative to the commercialization of cowpea in Brazil (ROCHA et al., 2012).

Cooking time is a key factor in choosing a cultivar by consumers who aim to save time in meal preparation. Prolonged cooking time should be avoided, as it can cause structural changes at the cellular level, reducing the availability of nutrients (MOTA et al., 2016; SILVA et al., 2017).

The proximate composition and mineral content present in the immature cowpea grain are still little studied. The results have shown genetic variability for protein (9.65 to 13.25 g 100g⁻¹), lipids (1.30 to 2.23 g 100g⁻¹), carbohydrates (21.54 to 29.69 g 100g⁻¹), total energy value (102.07 to 170.91 kcal 100g⁻¹), phosphorus (4.25 to 5.40 g kg⁻¹), calcium (0.60 to 1.00 g kg⁻¹), potassium (9.70 to 11.56 g kg⁻¹), magnesium (1.60 to 2.00 g kg⁻¹), sulfur (0.59 to 0.74 g kg⁻¹), boron (9.76 to 13 mg kg⁻¹), iron (5.38 to 6.370 mg 100⁻¹), zinc (4.28 to 4.73 mg 100g⁻¹), manganese (1.22 to 1.52 mg 100g⁻¹), and copper (0.6 to 0.99 mg 1200g⁻¹) (MELO et al., 2017; ARAÚJO et al., 2021; CARVALHO et al., 2022).

Thermal processing, henceforth referred to as cooking, is a fundamental preparation step of beans for consumption that is aimed at achieving palatability coupled with increased digestibility of nutrients, reduction/elimination of antinutrients and improved sensorial attributes such as aroma, taste, and texture (WAINAINA et al., 2021). Studies on the impact of

cooking on nutrient contents in immature cowpea grain are scarce. There were increases in moisture content and losses in protein, lipid, carbohydrate, total energy value and mineral content after cooking; however, in some cases, increases in protein and lipid contents were observed, depending on the genotype (COSTA, 2014; MELO et al., 2017).

Additional studies evaluating different cowpea genotypes are needed in order to obtain more concrete results on the nutritional and cooking quality of immature cowpea grains and the impact of cooking on the contents of these nutrients. The objective of this work was to evaluate the cooking time and chemical and mineral composition of raw and cooked immature grains of cowpea genotypes.

MATERIAL AND METHODS

Experimental protocol

Samples of immature grains of cowpea genotypes were collected in a cultivation carried out in the experimental field of Embrapa Meio-Norte, in Teresina-PI, in the year 2021. The grains were transported to the bromatology laboratory of Embrapa Meio-Norte for preparation and analysis. The genotypes were represented by two elite lines of the commercial color class, green subclass (MNC00-595F-27 and MNC05-847B-123), selected for their good agronomic attributes (SOUSA et al., 2019), and two commercial cultivars of the white class, plain white subclass (BRS Tumucumaque and Vagem Roxa-THE). The cultivar Vagem Roxa-THE was used as a commercial standard for the green-bean market. The grains were hand selected to remove dirt and those of substandard quality. All analyzes on raw and cooked beans were performed in triplicate.

Samples of raw immature grains of cowpea genotypes were washed with distilled water and placed in an oven at 60 °C for 48 hours. After this procedure, the grains were ground in a zirconia ball mill (Retsch, MM200) in order to obtain a flour to be used for the analyses. The flour was placed in a polyethylene bag and kept at a refrigerated temperature (4 °C) until the moment of analysis.

Cooking of immature grains

The cooking time was determined using the Mattson cooker, according to Mattson (1946), timed in minutes and evaluated in triplicate. A sample of 25 grains of each genotype was used.

The timer was started only when Mattson's cooker was fully immersed in the beaker, with boiling water. The cooking time was noted when the thirteenth rod of a total of twenty-five completely pierced the grain.

Cowpea immature grains were cooked in a bean:water ratio of 1:3 (w/v), during the predetermined cooking time for each genotype. Subsequently, the grains were separated from the cooking broth, with the aid of a plastic sieve, and the cooked beans were homogenized in a mortar with a pestle, according to the methodology described by Pinheiro (2013), with some adaptations, since in this study the cooking broth did not was homogenized together with the cowpea. All cooked samples were placed in polyethylene bags and stored under freezing until the time of analysis.

Proximate composition

Moisture determination was performed using the drying method in an oven at a temperature of 105 °C (AOAC, 2019). The ash was determined using the muffle incineration technique at a temperature of 550°C (AOAC, 2019). The proteins were analyzed by the Kjeldahl method (AOAC, 2019). Lipids were analyzed by the Soxhlet method (AOAC, 2019). Carbohydrates were determined by difference from the other constituents of the centesimal composition.

The total energy value (TEV) was calculated according to Watt and Merrill (1963), using Atwater conversion factors (carbohydrates = 4.0, lipids = 9.0, proteins = 4.0).

Mineral composition

Mineral contents were analyzed using the atomic absorption spectrometry technique (HORWITZ; LATIMER JR, 2005). For the analyzes of the macro minerals calcium (Ca), potassium (K) After the digestion step, the extracts of the minerals Ca, P, K and Mg were swelled with distilled water to 20 mL. Then, 200 µL of each extract was used and transferred to a test tube, adding 3.5 mL of strontium chloride and 3.3 mL of distilled water, then homogenized and continued reading in the flame atomic absorption spectrophotometer (GBC, B462), the specific wavelength of the element to be analyzed in the equipment software. Ca, K, P and Mg contents were obtained in parts per million (ppm) and then transformed to mg 100g⁻¹.

The analyzes of the iron (Fe), zinc (Zn), and manganese (Mn) microminerals were carried out from 200 mg of the sample, which were weighed and transferred to a digestion tube, with the addition of 5 mL of the digesting solution (nitro-perchloric solution, 2:1). The tubes were then placed in the digester block for approximately two hours until reaching 200 °C. After digestion, the extracts were transparent and clear, with an approximate volume of 2 mL. After the digestion step, the extracts of minerals Fe, Zn and Mn were increased to 20 mL with distilled water, homogenized and then read in a flame atomic absorption spectrophotometer (GBC, B462), previously selecting the specific wavelength of each element to be analyzed in the equipment software. Fe, Zn and Mn contents were obtained in parts per million (ppm) and then transformed to mg 100g⁻¹.

Statistical analyses

Based on the data obtained in the research, analyzes of variance were performed and the means between genotypes were compared using the Tukey's test ($p < 0.05$) and, between the raw and cooked forms of each genotype, using the student's t-test ($p < 0.05$). Statistical analyzes were performed using the SAS computational program (SAS INSTITUTE, 2012).

RESULTS AND DISCUSSION

Cooking Time

Mean cooking time of immature grains of four cowpea genotypes are presented in Table 1. The genotypes showed significant differences ($p < 0.05$) among themselves in terms of cooking time.

Table 1. Cooking time averages of immature grains of four cowpea genotypes. Teresina/PI, 2021.

Genotype	Cooking time (minutes)
MNC05-847B-123	8.81±0.64 ^c
MNC00-595F-27	14.17±0.29 ^a
BRS Tumucumaque	9.80±0.55 ^{bc}
Vagem Roxa-THE	10.87±0.38 ^b

Mean of three replicates ± standard deviation. Means followed by the same letter in the column do not differ by Tukey's test ($p < 0.05$).

The line MNC00-595F-27 showed the longest cooking time (14.17 min). The cultivar Vagem Roxa THE showed intermediate cooking time (10.87 min). The line MNC05-847B-123 and the cultivar BRS Tumucumaque showed the shortest cooking time, 8.81m. and 9.80 min, respectively. According to Bezerra et al. (2019), cooking time between 8 and 10 minutes is considered fast cooking and, therefore, adequate to meet current consumer demand.

The development of cultivars with rapid cooking is one of the objectives of Embrapa's cowpea breeding program. The immature grains of the genotypes evaluated in this work presented faster cooking than the dry grains of the commercial cowpea cultivars, which present an average cooking time of 18 min (ROCHA et al., 2017).

The line MNC05-847B-123 and the cultivar BRS Tumucumaque had a shorter cooking time than that obtained by Aquino et al. (2021), who observed an average cooking time of 12.6 min, evaluating the immature grains of 30 cowpea genotypes.

Cooking time is of fundamental importance for the acceptance of a cowpea cultivar by consumers, as the time available for preparing meals is often limited. Thus, cultivars that present fast-cooking grains save time and energy (firewood/gas) in preparation. In addition, cultivars with a longer cooking time can lead to nutritional losses in the grain (MOTA et al., 2016; SILVA et al., 2017).

Proximate composition of raw and cooked immature grains

The results of the centesimal composition and the TEV of the raw and cooked immature grains of the evaluated cowpea genotypes are shown in Table 2.

The lines MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 and the cultivars BRS Tumucumaque and Vagem Roxa THE did not differ among themselves for moisture content in raw immature grains. The moisture contents of the present work are higher than those obtained by Melo et al. (2017), who observed a variation of 58 to 60% moisture in the raw immature grains of four cowpea cultivars. The water content of a food is closely related to its stability, chemical composition, microbiological deterioration, and its general quality (TASSI, SILVA, MARTINS, 2016).

The moisture content of cooked immature grains of the genotypes ranged from 66.19 to 69.81%, with no differences between the line MNC05-847B-123 and the cultivar BRS-Tumucumaque and between the line MNC00-595F-27 and to cultivar Vagem Roxa-THE (Table 2). These moisture contents were like those reported by Melo et al (2017), who analyzed cooked

immature grains of four cowpea cultivars and observed an average moisture content of 65.81%. According to Brigide and Canniatti-Brazaca (2011), the increase in moisture content during cooking is due to grain imbibition.

Table 2. Proximate composition and total energy value (TEV) of raw and cooked immature grains of four cowpea genotypes (wet basis). Teresina/PI, 2021.

Characteristic	Genotype	Raw grain	Cooked grain
Moisture (g 100g ⁻¹)	MNC05-847B-123	66,00 ± 0.37 ^{aA}	66,26 ± 0.72 ^{bA}
	MNC00-595F-27	69,11 ± 0.36 ^{aA}	68,85 ± 0.41 ^{aA}
	BRS Tumucumaque	67,67 ± 1.08 ^{aA}	66,19 ± 0.44 ^{bA}
	Vagem Roxa-THE	67,71 ± 0.51 ^{aB}	69,81 ± 0.84 ^{aA}
Ashes (g 100g ⁻¹)	MNC05-847B-123	1,12 ± 0.11 ^{aA}	0,83 ± 0.08 ^{aB}
	MNC00-595F-27	1,14 ± 0.04 ^{aA}	0,64 ± 0.09 ^{aB}
	BRS Tumucumaque	0,94 ± 0.03 ^{bA}	0,78 ± 0.09 ^{aB}
	Vagem Roxa-THE	1,01 ± 0.05 ^{bA}	0,54 ± 0.38 ^{aB}
Lipids (g 100g ⁻¹)	MNC05-847B-123	0,72 ± 0,49 ^{aA}	1,11 ± 0.11 ^{aA}
	MNC00-595F-27	0,93 ± 0.13 ^{aA}	0,14 ± 0.02 ^{bB}
	BRS Tumucumaque	0,54 ± 0.12 ^{bA}	0,27 ± 0.16 ^{bB}
	Vagem Roxa-THE	0,53 ± 0.15 ^{bA}	0,11 ± 0.01 ^{bB}
Proteins (g 100g ⁻¹)	MNC05-847B-123	9,12 ± 0,14 ^{aA}	9,46 ± 0.78 ^{aA}
	MNC00-595F-27	8,98 ± 0,33 ^{aA}	9,26 ± 0.26 ^{aA}
	BRS Tumucumaque	8,33 ± 0,22 ^{bB}	10,13 ± 0.73 ^{aA}
	Vagem Roxa-THE	8,13 ± 0,16 ^{bB}	8,90 ± 0.12 ^{aA}
Carbohydrates (g 100g ⁻¹)	MNC05-847B-123	23,04 ± 0,27 ^{aB}	22,34 ± 1.18 ^{aB}
	MNC00-595F-27	19,84 ± 0,33 ^{bB}	21,13 ± 0.19 ^{aB}
	BRS Tumucumaque	22,52 ± 0,24 ^{aB}	22,64 ± 0.93 ^{aB}
	Vagem Roxa-THE	22,62 ± 0,12 ^{aB}	20,64 ± 0.62 ^{aB}
TEV (Kcal 100g ⁻¹)	MNC05-847B-123	135,14 ± 2,87 ^{aB}	137,19 ± 3.23 ^{aA}
	MNC00-595F-27	123,69 ± 0,63 ^{cB}	122,82 ± 1.40 ^{bA}
	BRS Tumucumaque	128,25 ± 0,59 ^{bB}	133,51 ± 1.68 ^{aA}
	Vagem Roxa-THE	127,76 ± 0,63 ^{bA}	119,15 ± 2.03 ^{bB}

Mean of three replicates ± standard deviation. Means followed by equal lowercase letters in columns and uppercase letters in rows do not differ significantly ($p < 0.05$) by Tukey and Student's t tests, respectively. Teresina/PI, 2021.

Lineages MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 did not differ among themselves in terms of ash content in raw grains, but differed significantly ($p < 0.05$) from cultivars BRS Tumucumaque and Vagem Roxa-THE, which did not differ each other. The strains had higher ash content (0.94 to 1.14 g 100g⁻¹), values lower than those observed by Melo et al. (2017), 1.56 to 1.66 g 100g⁻¹, evaluating the immature grains of four cowpea cultivars.

The cowpea genotypes did not differ among themselves for ash content in cooked immature grains, ranging from 0.54 to 0.83 g 100g⁻¹, in agreement with the results obtained by

Melo et al. (2017), evaluating the cooked grains of cowpea cultivars BRS Aracê, BRS Guariba, BRS Tumucumaque and BRS Xiquexique. The reduction in ash content after cooking can be attributed to the loss of minerals by diffusion in the water used for the heat treatment (BARAMPANA; SIMARD, 1995).

Lineages MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 did not differ among themselves in terms of lipid content in raw grains, but differed significantly ($p < 0.05$) from cultivars BRS Tumucumaque and Vagem Roxa-THE, which did not differ among themselves. Melo et al. (2017), evaluating raw immature grains of four cowpea cultivars, observed different results regarding differences between genotypes. Regarding the lipid content in cooked immature grains, the line MNC05-847B-123 differed significantly ($p < 0.05$) from the other genotypes, presenting the highest content ($1.11 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), which was lower than the contents found by Melo et al. (2017), which ranged from 1.55 to $2.31 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$. The increase in lipid content can be attributed to a possible occurrence of dissociation of lipid complexes in water and the decrease could be a consequence of the formation of a lipid-protein complex (AKPAPUNAM; ACHINEWHU, 1985).

Lineages MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 did not show significant difference ($p < 0.05$) in relation to protein content in raw immature grains, as well as cultivars BRS Tumucumaque and Vagem Roxa-THE showed similar levels among themselves, but differed from the others. Araújo et al. (2021), evaluating the immature grains of 16 cowpea genotypes, observed much lower protein contents (2.72 to $15.15 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) than those obtained in the present study. The genotypes did not differ among themselves in terms of cooked immature grains, which ranged from 8.90 to $10.13 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, almost like that found by Melo et al. (2017), which ranged from 9.30 to $11.61 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$.

The MNC05-847B-123, BRS Tumucumaque and Vagem Roxa-THE genotypes showed similar carbohydrate contents in the raw immature grains, while the MNC00-595F-27 lineage showed significant differences ($p < 0.05$) in relation to the studied genotypes. The MNC05-847B-123 strain had the highest carbohydrate content ($23.04 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), which was lower than the levels observed by Melo et al. (2017) (27 to $29 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), evaluating raw immature grains of four cowpea cultivars. Regarding cooked immature grains, the genotypes did not differ, ranging from 20.64 to $22.64 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, like the results found by Melo et al. (2017), which ranged from 20.12 to $22.17 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$.

With regard to the TEV found in raw immature grains, the lines MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 showed differences ($p < 0.05$) between themselves and the cultivars BRS Tumucumaque and Vagem Roxa-THE. The TEV levels found in the present study are lower

than those observed by Melo et al. (2017) (159.33 to 170.91 kcal 100g⁻¹) in raw immature grains of four cowpea cultivars. Regarding cooked immature grains, the MNC05-847B-123 and BRS-Tumucumaque genotypes differed significantly ($p < 0.05$) from the MNC00-595F-27 and Vagem Roxa-THE genotypes, ranging from 119.15 to 137.19 kcal 100g⁻¹. Genotypes MNC05-847B-123 and BRS-Tumucumaque did not differ among themselves, as well as between MNC00-595F-27 and Vagem Roxa-THE. These contents were lower than those observed by Melo et al (2017), evaluating cooked immature grains of four cowpea cultivars.

The differences observed in the proximate composition and TEV of the immature grains of the cowpea genotypes of the present study in relation to other studies may be due to the genotype and environmental conditions (type of soil) during plant development, in addition to the cultural practices (GOMES; REIS; SILVA, 2012; BEZERRA et al., 2019).

Impact of cooking immature grains on the centesimal composition

After heat treatment, no differences were observed in moisture content, however there was a reduction in ash and lipid content in the four evaluated cowpea genotypes. Only the MNC05-847B-123 strain showed similar lipid levels in raw and cooked grains. Regarding carbohydrate and protein contents, no significant differences were observed between the evaluated genotypes.

Thermal processes such as cooking can cause physicochemical changes in proteins, starch, and other components of legumes, affecting their nutritional value. The cooking process affects the nutrient composition of the cowpea genotypes, causing an increase in the moisture content and a decrease in the ash, lipid, protein, carbohydrate, and total energy values, compared to the raw grains, with these nutrients being transferred to the cooking broth (BEZERRA et al., 2019).

The application of heat to immature cowpea grain reduced the most nutrients evaluated, however, it is essential and beneficial in the case of legumes, as it enables their consumption and increases the bioavailability of proteins through the inactivation of anti-nutritional, in addition to contributing to the improvement of smell, taste and texture of the immature grains for the consumers.

Composition of minerals in raw and cooked grains

The results referring to the analysis of minerals in the raw and cooked immature grains of four cowpea genotypes are shown in Table 3.

Table 3. Mean mineral content in raw and cooked grains of four cowpea genotypes (wet basis). Teresina/PI, 2021.

Mineral (mg 100g ⁻¹)	Process	MNC05-847B-123	MN00-595F-27	BRS Tumucumaque	Vagem Roxa-THE
Ca	Raw	33,00 ± 0.02 ^{bb}	39,00 ± 0.05 ^{aB}	34,00 ± 0.03 ^{abB}	45,00 ± 0.05 ^{aB}
	Cooked	71,00 ± 0.03 ^{aA}	71,67 ± 0.05 ^{aA}	64,67 ± 0.05 ^{bA}	64,00 ± 0.05 ^{bA}
Mg	Raw	64,00 ± 0.05 ^{aA}	54,00 ± 0.02 ^{abB}	43,00 ± 0.11 ^{bb}	68,00 ± 0.05 ^{aB}
	Cooked	69,00 ± 0.11 ^{bA}	68,33 ± 0.05 ^{bA}	69,33 ± 0.03 ^{bA}	178,67 ± 0.16 ^{aA}
P	Raw	181,00 ± 0.05 ^{bA}	188,00 ± 0,06 ^{aA}	172,00 ± 0,02 ^{bA}	184,00 ± 0,12 ^{bb}
	Cooked	160,67 ± 0,24 ^{± aB}	173,67 ± 0,20 ^{abB}	156,67 ± 0,10 ^{abB}	191,00 ± 0,06 ^{aA}
K	Raw	497,00 ± 0,07 ^{aA}	497,00 ± 0,039 ^{aA}	457,00 ± 0,038 ^{bA}	453,00 ± 0,08 ^{bA}
	Cooked	324,70 ± 1,78 ^{abB}	267,67 ± 0,05 ^{abB}	23,33 ± 0,18 ^{bb}	204,33 ± 0,73 ^{bb}
Zn	Raw	1,56 ± 0,11 ^{bA}	1,63 ± 0,17 ^{aA}	1,53 ± 0,15 ^{bA}	1,35 ± 0,34 ^{cA}
	Cooked	1,38 ± 1,60 ^{bA}	1,54 ± 2,36 ^{aA}	1,40 ± 0,27 ^{bA}	1,12 ± 1,49 ^{bA}
Fe	Raw	2,16 ± 0,46 ^{bb}	2,07 ± 0,20 ^{abB}	2,17 ± 0,56 ^{bb}	2,17 ± 0,35 ^{bb}
	Cooked	5,62 ± 3,10 ^{aA}	5,65 ± 1,92 ^{aA}	5,59 ± 1,95 ^{aA}	5,62 ± 2,35 ^{aA}
Mn	Raw	0,63 ± 0,45 ^{abB}	0,57 ± 0,27 ^{abB}	0,55 ± 0,33 ^{abB}	0,58 ± 0,04 ^{abB}
	Cooked	0,72 ± 1,18 ^{aA}	0,71 ± 0,40 ^{aA}	0,76 ± 0,17 ^{aA}	0,78 ± 0,64 ^{aA}

Mean of three replicates + standard deviation. Means followed by the same lowercase letter in the row and uppercase in the column do not differ significantly by Tukey ($p < 0.05$) and Student's *t* ($p < 0.05$) tests, respectively. Teresina/PI, 2021.

The genotypes MNC05-847B-123, BRS-Tumucumaque and Vagem Roxa-THE did not differ among themselves for the calcium content in the raw immature grains, while the genotypes MNC00-595F-27 and Vagem Roxa-THE differed significantly ($p < 0.05$) of the line MNC05-847B-123, ranging from 33 to 45 mg 100g⁻¹. Regarding the calcium content in cooked immature grains, the strains differed significantly ($p < 0.05$) from the cultivars, ranging from 64.00 to 71.67 mg 100g⁻¹. Calcium contents in raw immature grains observed in the present study were lower than those found by Carvalho et al. (2022) in a study with ten genotypes of cowpea, where it ranged from 60.00 to 100.00 mg 100g⁻¹. Costa (2014), analyzing the calcium content in cooked immature grains of four green cowpea cultivars, observed contents ranging from 52.99 to 91.4 mg 100g⁻¹, higher than that obtained in the present study.

Genotypes MNC05-847B-123, MNC00-595F-27 and Vagem Roxa-THE differed significantly ($p < 0.05$) from cultivar BRS-Tumucumaque in terms of magnesium content in raw immature grains, which ranged from 43 to 68 mg 100g⁻¹, which is lower than the levels observed by Carvalho et al. (2022), which was 160 to 200 mg 100g⁻¹. As for cooked immature grains, the cultivar Vagem Roxa-THE differed significantly ($p < 0.05$) from the other genotypes, with a

content of 178.67 mg 100g⁻¹, higher than the values observed by Costa (2014), who found values from 110.14 to 147.85 mg 100g⁻¹, evaluating four cowpea cultivars.

The MNC00-595F-27 strain differed significantly ($p < 0.5$) from the other genotypes for phosphorus content in raw immature grains, with a value of 188 mg 100g⁻¹, which was lower than the levels observed by Carvalho et al. (2022), who found values from 425 to 540 mg 100g⁻¹. In cooked immature grains, the genotypes did not differ statistically for this mineral, however, the cultivar Vagem Roxa-THE obtained the highest content (191.00 mg 100g⁻¹), lower than the values observed by Costa (2014), also in cooked immature grains of four cowpea cultivars, with values from 341.78 to 447.57 mg 100g⁻¹.

The lines differed significantly ($p < 0.5$) from the cultivars for potassium content in raw immature grains, with contents of 497 mg 100g⁻¹, values lower than those observed by Carvalho et al. (2022), between 970 and 1,156 mg 100g⁻¹. The potassium contents in the cooked immature grains of the strains were higher than those of the cultivars, with a higher content for the strain MNC05-847B-123 (324.70 mg 100g⁻¹), a value lower than those observed by Costa (2014), who obtained a variation from 711.84 to 1,001.96 mg 100g⁻¹.

The zinc content in the raw immature grains of the genotypes ranged from 1.35 to 1.63 mg 100g⁻¹, with emphasis on the strain MNC00-595F-27, which presented a content of 1.63 mg 100g⁻¹, a value lower than cultivar (AUA2) analyzed by Carvalho et al. (2022), which was 5.5 mg 100g⁻¹. Likewise, regarding the Zn content in cooked immature grains, the MNC00-595F-27 strain was superior to the other genotypes, with a content of 1.54 mg 100g⁻¹, which is lower than the values observed by Costa (2014), which obtained a variation of 4.36 to 5.06 mg 100g⁻¹ in a study with four cowpea cultivars.

No statistically significant differences were observed for the iron content in the raw immature grains of the studied genotypes, with the exception of the lineage MNC00-595F-27. However, these contents were lower than those of the cultivar (AUA2) in the study by Carvalho et al. (2022), which was 7.09 mg 100g⁻¹. As for the Fe content in cooked immature grains, the genotypes did not differ for this mineral, which ranged from 5.59 to 5.65 mg 100g⁻¹, a variation similar to that obtained by Costa (2014), who obtained a variation from 5.55 to 6.44 mg 100g⁻¹ in a study with four cowpea cultivars.

As for the manganese content, both in raw and cooked immature grains, the genotypes did not differ among themselves for this mineral. The variation in Mn content in raw immature grains ranged from 0,55 to 0,63 mg 100g⁻¹, values lower than those observed by Carvalho et al. (2022), which was 1.36 to 2.13 mg 100g⁻¹. The values in cooked immature grains ranged from

0.71 to 0.78 mg 100g⁻¹, lower than those observed by Costa (2014), evaluating the cooked immature grains of four cultivars, which was from 1.40 to 1.76mg 100g⁻¹.

Impact of cooking immature grains on mineral content

After cooking, the control cultivar (Vagem Roxa-THE) stood out for its higher Mg content (178.67 mg 100g⁻¹). The lines MNC00-595F-27 and MNC05-847B-123 outperformed the control in terms of Ca contents, 71 mg 100g⁻¹ and 71.67 mg100g⁻¹, respectively. The MNC00-595F-27 strain had a higher Zn content (1.54 mg 100g⁻¹) than the other studied genotypes.

The mineral P, K e Zn content decreased significantly ($p < 0.05$) after cooking in the BRS-Tumucumaque and Vagem Roxa-THE cultivars and in the MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 lines. This reduction was probably due to the dissolution of minerals in the cooking water (BRIGIDE; CANNIATTI-BRAZACA, 2011). It is noteworthy that in this study the cooking broth was not considered for the analysis of macro and microminerals.

Regarding the minerals Ca, Mg, Fe and Mn, there was a significant increase after cooking. Result similar to that of Costa (2014) who observed an increase in the calcium content in the BRS Aracê cultivar (raw: 76.88 mg 100g⁻¹, cooked: 91.47mg 100g⁻¹), of manganese in the BRS Tumucumaque cultivar (raw: 1 .51 mg 100g⁻¹, cooked: 1.67 mg 100g⁻¹) and Fe in BRS Aracê cultivar (raw: 6.28 mg 100g⁻¹, cooked: 6.43 mg 100g⁻¹) after cooking the immature grains.

Despite the losses after cooking, the studied genotypes obtained relevant levels for the analyzed minerals. According to Silva et al. (2017), possibly, the short cooking time of cowpea grains provided a smaller reduction in nutritional contents when compared to raw and cooked grains.

In a study carried out by Costa (2014) with four cultivars of raw and cooked immature cowpea, a reduction in Cu, K and Mg contents was observed in the four cultivars after thermal processing, while in relation to the Ca content there was an increase after cooking. In another study with raw and cooked grains, cooking reduced the protein, potassium, calcium, iron, and zinc contents in the grains of 24 cowpea genotypes (SILVA et al., 2017).

The chemical composition of foods of plant origin is influenced and controlled by intrinsic and extrinsic factors such as the genetic characteristics of the plant, soil fertility and the growing environment (BEZERRA et al., 2019). In addition, the processing conditions employed, such as the amount and temperature of water and the time of contact between it and beans are factors that may favor the migration of minerals to the broth (OLIVEIRA et al., 2008;

RAMÍREZ-CÁRDENAS; LEONEL; COSTA 2008). If, on the one hand, cooking causes loss of nutrients, on the other hand, according to Bezerra et al. (2019), contributes to increasing the bioavailability of proteins and minerals by decreasing or eliminating antinutritional compounds, such as phytates, tannins and others.

CONCLUSION

The MNC05-847B-123 and BRS Tumucumaque genotypes present faster immature grain cooking than the commercial control (Vagem Roxa-THE). Cooking maintained the moisture, protein and carbohydrate contents and reduced the ash and lipid contents of the immature grains of the evaluated genotypes. The lines MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 showed higher ash and protein contents in the raw grains compared to the commercial control. The MNC00-595F-27 strain showed higher levels of P, K and Zn in the raw grains compared to the commercial control. The content of some minerals decreases after cooking, while that of others increases. The lines MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 even with losses, after the thermal processing of the immature grain, present nutritional potential as cultivars for the green bean market.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa Meio-Norte) for funding and technical support for this research (project code: 20.18.01.022.00.00); and the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for granting a doctor scholarship to the first author (Process 88887.201922/2018-00).

REFERENCES

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of AOC International**. 21. ed. Rockville: AOAC International, 2019.

AKPAPUNAM, M. A.; ACHINEWHU, S. C. Effects of cooking, germination and fermentation on the chemical composition of Nigerian Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 35, n. 4, p. 353-358, 1985.

AQUINO, D. A. L.; SANTOS, C. A. F. S.; SILVA, D. O. M. Phenotypic variability of cowpea genotypes for immature seed harvesting. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 51: 1-8, 2021.

ARAÚJO, L. B. R. et al. Influence of the environment and production components on the protein content of green cowpea grain. **Revista Ciência Agronômica**, 52: 1-9, 2021.

BARAMPANA, Z.; SIMARD, R. E. Effects of soaking, cooking and fermentation on composition, in-vitro starch digestibility and nutritive value of common beans. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 48, n. 4, p. 349-365, 1995.

BEZERRA, J. M. et al. Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. **Revista Verde**, 14: 41-47, 2019.

BRIGIDE, P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação dos efeitos da cocção e irradiação na composição do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, 22: 97-102, 2011.

CARVALHO, M. Cowpea immature pods and grains evaluation: an opportunity for different food sources. **Plants**, 11: 1-15, 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2021/2022, 12º levantamento, setembro de 2022**. Brasília, DF: CONAB, v. 9, n. 12. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 03 Fev. 2023.

COSTA, N. Q. **Características nutritivas e sensoriais de formulações de baião-de-dois elaboradas a partir de arroz integral e feijão-caupi biofortificados**. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

FREIRE FILHO, F. R. et al. A cultura: aspectos socioeconômicos, p.9-34. In: DO VALE, J. C., BERTINI, C., BORÉM, A. (Ed). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. v. 1, cap. 1, p. 9-34.

GOMES, G. M. S.; REIS, R. C.; SILVA, C. A. D. T. Obtenção de farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, 14: 31-36, 2012.

HORWITZ, W.; LATIMER JR., G. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18 ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2005. v. 1, Cap. 50, p. 15-18.

MARTINS, M. P. S. C. et al. Characterization of cowpea cultivars for grain size, color, and biofortification. **Revista Caatinga**, 38: 207-214, 2023.

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

MEKONNEN, T. H. et al. Breeding of Vegetable Cowpea for Nutrition and Climate Resilience in Sub-Saharan Africa: Progress, Opportunities, and Challenges. **Plants**, 11: 1-23, 2022.

MELO, N. Q. C. et al. Chemical characterization of green grain before and after thermal processing in biofortified cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**, 48: 811-816, 2017.

MOTA, C. et al. The effect of cooking methods on the mineral content of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus* sp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). **Journal of Food Composition and Analysis**, 49: 57-64, 2016.

OLIVEIRA, V. R. et al. Qualidade nutricional e microbiológica de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido com ou sem água de maceração. **Ciências Agrotecnológicas**, 32: 1912-1918, 2008.

PINHEIRO, E. M. **Caracterização química, poder antioxidante e efeito do cozimento de genótipos de feijão-caupi**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

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**, 28: 200-213, 2008.

ROCHA, M. M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi quanto à produção de grãos frescos, em Teresina-PI. **Revista Científica Rural**, 14: 40-55, 2012.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; MENEZES JUNIOR, J. A. Cultivares. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. v.1, cap. 6, p. 113-142.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Human Nutrition Institute, 2001.

SAS - Statistical Analysis System. **SAS/STA User's Guide: statistics**. Version 9.1. edition. Cary NC: SAS Inc., 2012.

SILVA, M. B. O. et al. Technological quality of grains of common beans selected genotypes from the carioca group. **Semina: Ciências Agrárias**, 37: 1721-1732, 2016.

SILVA, E. F. et al. Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em Serra Talhada-PE. **Revista Caatinga**, 26: 21-26, 2013.

SOUSA, J. L. M. et al. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50: 392-398, 2015.

SOUSA, T. J. F. et al. Simultaneous selection for yield, adaptability, and genotypic stability in immature cowpea using REML/BLUP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 54: 1-9, 2019.

VIEIRA, M. M. S.; BEZERRA, J. M.; SANTOS, A. F. Avaliação dos compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) imaturo cru, cozido e seus caldos de cocção. **Research, Society and Development**, 10: 1-11, 2021.

WAINAINA, I. et al. Thermal treatment of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Factors determining cooking time and its consequences for sensory and nutritional quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 20: 1-29, 2021.

WATT, B.; MERRILL, A.L. **Composition of foods: raw, processed, prepared**. Washington: Agricultural Research Service, 1963. v. 1. 198 p.

ARTIGO 2

QUALIDADE NUTRICIONAL E FUNCIONAL DE GRÃOS IMATUROS BRANQUEADOS E CONGELADOS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI

RESUMO - A crescente procura por alimentos saudáveis tem impulsionado as pesquisas de alimentos que possam atender a essas necessidades. Vitamina C, α -tocoferol, carotenoides e compostos fenólicos presentes nos alimentos de origem vegetal têm a capacidade de reduzir os danos oxidativos associados a muitas doenças crônicas. O objetivo deste estudo foi avaliar a composição centesimal, minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante dos grãos imaturos branqueados (90° C/5 min) e congelados (-18° C) de genótipos de feijão-caupi. Foram avaliados dois genótipos de feijão-caupi, uma linhagem elite (MNC00-595F-27) e uma cultivar comercial (Vagem Roxa-THE), utilizada como testemunha. Amostras de grãos imaturos branqueados e congelados foram analisados para a composição centesimal e minerais no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI. Os compostos bioativos e a atividade antioxidante foram analisados no Laboratório de Análise de Alimentos do Instituto Federal do Piauí, campus zona sul. Os dados foram analisados estatisticamente, sendo realizadas análises de variância e as médias entre genótipos foram comparadas pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Os genótipos não diferiram entre si para os teores de umidade, lipídeos, fibras alimentares e valor energético total (VET). A linhagem MNC00-595F-27 diferiu significativamente e foi superior à testemunha para os teores de proteínas, cinzas e carboidratos. Com relação aos teores de minerais analisados, os genótipos diferiram significativamente apenas para os teores de Ca, P e K, com a linhagem MNC00-595F-27 superior à testemunha para os teores de P e K, e inferior para o teor de Ca. A linhagem MNC00-595F-27 diferiu significativamente ($p < 0,05$) da testemunha para os teores de compostos bioativos. Em relação aos fenólicos totais, observou-se diferença significativa entre os genótipos com extração aquosa, não havendo diferença para as extrações etanólica e cetônica. Os genótipos apresentaram maior atividade antioxidante pelos métodos de captura dos radicais livres DPPH (CE₅₀) e ABTS quando utilizada a extração aquosa. A linhagem MNC00-595F-27 apresentou maiores teores de compostos bioativos (flavonoides, antocianinas, vitamina C e carotenoides e fenólicos totais) e atividade antioxidante pelo método ABTS, ambos com extração aquosa, quando comparada a cultivar comercial Vagem Roxa-THE; porém, a cultivar foi superior quanto à atividade antioxidante pelo método DPPH (CE₅₀) com extração aquosa. Os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27 representam uma excelente

opção de comercialização, agregando boa conservação pós-colheita para os produtores e comerciantes e promoção da saúde dos consumidores de feijão-verde.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Caupi imaturo. Branqueamento. Congelamento. Compostos Bioativos.

NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL QUALITY OF BLEACHED AND FROZEN IMMATURE GRAINS OF COWPEA GENOTYPES

ABSTRACT - The growing demand for healthy foods has driven research into foods that can meet these needs. Vitamin C, α -tocopherol, carotenoids, and phenolic compounds present in plant-based foods have the ability to reduce oxidative damage associated with many chronic diseases. The objective of this study was to evaluate the proximate and mineral composition, bioactive compounds, and antioxidant activity of blanched and frozen immature grains of cowpea genotypes. Two cowpea genotypes were evaluated, an elite line (MNC00-595F-27) and a commercial cultivar (Vagem Roxa-THE), used as a control. Samples of immature bleached and frozen grains were analyzed for chemical composition and minerals at the Bromatology Laboratory of Embrapa Meio-Norte, in Teresina-PI. Bioactive compounds and antioxidant activity were analyzed at the Food Analysis Laboratory of the Federal Institute of Piauí, south campus. Data were statistically analyzed, with analysis of variance being performed and means between genotypes compared by Student's t test ($p < 0.05$). The genotypes did not differ among themselves for moisture, lipid, dietary fiber, and total energy value (TEV). The line MNC00-595F-27 differed significantly and was superior to the control for protein, ash, and carbohydrate contents. About the analyzed mineral contents, the genotypes differed significantly only for the Ca, P and K contents, with the line MNC00-595F-27 superior to the control for the P and K contents, and inferior for the Ca content. The line MNC00-595F-27 differed significantly ($p < 0,05$) from the control for the bioactive compound contents. Regarding total phenolics, there was a significant difference between genotypes with aqueous extraction, with no difference between genotypes for ethanolic and ketoinic extractions. The genotypes showed higher antioxidant activity by the methods of scavenging free radicals DPPH (EC50) and ABTS when using aqueous extraction. The MNC00-595F-27 strain showed higher levels of bioactive compounds (flavonoids, anthocyanins, vitamin C and carotenoids and total phenolics) and antioxidant activity by the ABTS method, both with aqueous extraction, compared to the commercial cultivar Vagem Roxa-THE; however, the cultivar was superior in terms of

antioxidant activity by the DPPH method (EC50) with aqueous extraction. The blanched and frozen immature grains of the cowpea line MNC00-595F-27 represent an excellent marketing option, adding good post-harvest conservation for producers and traders and promoting the health of green-bean consumers.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Immature cowpea. Bleaching. Freezing. Bioactive compounds.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), popularmente conhecido como feijão-de-corda é uma das culturas mais importantes das regiões Norte e Nordeste, o seu cultivo no Brasil chega a cerca de um milhão de hectares, sendo essas duas regiões responsáveis por, aproximadamente, 90% da área total de cultivo, além de ser uma das principais fontes de proteína para as famílias dessas regiões (SANTOS et al., 2017).

Utilizado para várias finalidades e em diferentes sistemas de produção, o feijão-caupi pode ser comercializado como grãos secos (mercado principal), vagens e grãos imaturos (feijão-verde) e sementes. Há um mercado potencial para produção de farinha, grãos para enlatamento e congelamento e vagens para salada (ROCHA, 2021).

O mercado de feijão-caupi gira principalmente em torno da produção de grãos secos ou imaturos. Amplamente apreciado por seu sabor e fácil preparo, o grão imaturo é utilizado em diversos pratos típicos do Nordeste (ANDRADE et al., 2011). A demanda para grãos secos vem diminuindo, e o que historicamente foi a principal finalidade da produção vem perdendo espaço para o mercado ascendente de vagens e grãos verdes (PENHA FILHO et al., 2017).

A valorização de vegetais frescos, como o feijão-verde, tem demonstrado um crescimento nos últimos anos, favorecendo o aumento gradativo na aquisição destes produtos pelos consumidores, garantindo maior rentabilidade para os agricultores (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Para conseguir atender esse mercado crescente deve-se conhecer a fenologia da cultura para saber o período em que se tem a colheita das vagens verdes, sendo o período ideal de colheita quando as vagens atingirem entre 60 e 70% de umidade (MENDONÇA et al., 2015).

A produção e o consumo de grãos de feijão-verde representam um mercado altamente promissor, tornando-se uma boa opção de renda para os agricultores familiares e empresariais. Por esta razão, é considerado uma importante fonte regional de emprego e renda. A produção de grãos verdes apresenta grande potencial de aumento de consumo, bem como de processamento industrial, nas formas de enlatamento, resfriamento e congelamento,

principalmente quando produzidos no período de entressafra, época em que o produto atinge preços altos no mercado (SOUSA et al., 2015; MELO et al., 2017).

Os grãos de feijão-caupi, além de serem uma fonte significativa de carboidratos, proteínas, vitaminas, minerais e fibra alimentar, contêm compostos bioativos, que devido à sua ação antioxidante, ajudam a reduzir o risco de doenças como câncer, diabetes e doenças cardiovasculares (CAVALCANTE et al., 2017a,b). A capacidade dos polifenóis de reduzir o risco de desenvolvimento de várias doenças crônicas não transmissíveis ligadas ao estresse oxidativo, incluindo câncer, pode ser explicada tanto pela presença de polifenóis redutores quanto por seus metabólitos no plasma (SILVA et al., 2022).

Os fenólicos auxiliam no crescimento e reprodução das plantas e apresentam, além disso, uma função de proteção contra infecções e agressões por micro-organismos (situações de estresse) e servem como filtros de radiação UV, contribuindo com o aroma, adstringência, cor e estabilidade oxidativa das mesmas. Estão presentes nas plantas na forma livre ou ligados a açúcares e proteínas e estão incluídos na categoria de interruptores de radicais livres, sendo muito eficientes na prevenção da autoxidação (SANTOS, 2016). A presença dessas substâncias tem sido estudada devido a suas propriedades farmacológicas, antinutricionais e antioxidantes (PADERMO, 2017).

A conservação do feijão-caupi imaturo é uma forma de agregar valor, garantir seu consumo em qualquer época do ano, especialmente na entressafra, e difundir o seu consumo em outras regiões (LIMA et al., 2003). As tecnologias de processamento de alimentos, são uma tendência para minimizar o custo de produção, o desperdício de alimentos e maximizar a sustentabilidade do processo de comercialização e obtenção de produtos de melhor qualidade (XIAO et al., 2017).

Os alimentos de origem vegetal permanecem com os processos biológicos naturais e vitais ativos mesmo após a colheita (TAVARES, 2020). Deste modo, para aumentar o período de conservação e diminuir as perdas e danos pós-colheita, é fundamental que haja métodos que possam minimizar esses prejuízos (FENG et al., 2018).

Segundo Maharaj et al. (1999) os principais fatores limitantes no armazenamento de vegetais frescos são a senescência, deterioração por micro-organismos e transpiração. A alta perecibilidade dos grãos imaturos de feijão-caupi in natura dificulta a sua comercialização (TAVARES et al., 2022). Por isso, grande atenção vem sendo dispensada à conservação pós-colheita de vegetais, visto que as perdas atingem índices entre 25 e 60% nos países em desenvolvimento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Dessa forma, têm-se avaliados métodos e técnicas que visem diminuir as perdas pós-colheita de produtos hortícolas comercializados

frescos, entre elas o uso de embalagens e ambiente de armazenamento (SÁ et al., 2014; TAVARES et al., 2022).

O branqueamento é um método de conservação procedido pelo aquecimento rápido do alimento a uma dada temperatura durante um período especificado, geralmente de 1 a 10 minutos. Em seguida, o produto branqueado é imediatamente resfriado. Os principais objetivos desse método são a inativação enzimática, o controle microbiológico, maior eficiência na extração de compostos bioativos, facilidade para proceder com o peeling de frutas e legumes, diminuição do ar intracelular dos vegetais, melhoria nas taxas de desidratação, minimização do escurecimento enzimático, entre outras finalidades que afetam de forma benéfica a qualidade dos alimentos (XIAO et al., 2017; TAVARES et al., 2022).

Neste sentido, os grãos imaturos de feijão-caupi foram branqueados e seu efeito sobre a vida de prateleira investigada por Tavares et al. (2022). Os autores verificaram que o branqueamento a 70 °C por quatro minutos manteve e/ou melhorou as características físicas do grão imaturo cru e que a carga microbiológica e a atividade enzimática reduziram e permaneceram estáveis por cinco dias sobre refrigeração quando comparado com os grãos imaturos não branqueados. Concluíram ainda que o branqueamento se mostra como uma alternativa para melhorar o feijão-caupi imaturo, favorecendo o aumento econômico da produção com qualidade garantida e atributos de segurança.

Pesquisas referentes aos grãos verdes pós processamento térmico são importantes, uma vez que esse alimento é geralmente consumido cozido. Os métodos de preparo do feijão influenciam a qualidade sensorial e o valor nutricional do alimento. Como a forma cozida dessas leguminosas é a mais consumida, o aquecimento permite a utilização dos grãos, melhorando a digestão, a absorção de nutrientes e as características sensoriais (aparência, aroma, sabor e textura). Em geral, o processamento térmico afeta a qualidade nutricional dos grãos, com alterações observadas nos teores de macronutrientes, vitaminas, minerais e fitoquímicos (FERNANDES; CALVO; PROENÇA, 2012; MELO et al., 2017; VIEIRA et al., 2021).

A composição química e as propriedades nutricionais do feijão-caupi variam consideravelmente de acordo com a cultivar. Vasconcelos et al. (2010) relataram a importância do monitoramento químico e nutricional de novas cultivares de feijão-caupi. Pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de caracterizar quimicamente os grãos secos de linhagens e cultivares de feijão-caupi, principalmente em relação aos teores de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais e, mais recentemente, compostos bioativos (CARVALHO et al., 2012; ELHARDALLOU et al., 2015; BARROS, 2014; BARROS et al., 2017; SILVA et al., 2017;

BEZERRA et al., 2019; MIRI et al., 2022). Porém, em relação à composição química dos grãos imaturos crus e tratados termicamente, os estudos são ainda escassos (LIMA et al., 2000; LIMA et al., 2003; NUNES et al., 2006; ANDRADE et al., 2011; MELO et al., 2017).

O branqueamento como um método de processamento térmico em grãos imaturos de feijão-caupi tem sido ainda pouco aplicado. Pereira et al. (2021) compararam a conservação sob resfriamento dos grãos imaturos de feijão-caupi realizados com e sem o branqueamento prévio. Os resultados evidenciaram que o branqueamento proporcionou uma maior redução da diversidade de micro-organismos nos grãos imaturos de feijão-caupi após armazenagem, no entanto, não foi capaz de eliminar completamente fungos produtores de micotoxinas e bactérias.

O objetivo desse estudo foi avaliar a composição centesimal, mineral, compostos bioativos e atividade antioxidante dos grãos imaturos branqueados e congelados de genótipos de feijão-caupi.

MATERIAL E MÉTODOS

Protocolo experimental

Amostras dos grãos imaturos de feijão-caupi foram coletadas na fase de vagens imaturas, quando os grãos estão mais túrgidos (cheios), com umidade entre 50 e 65%, em um cultivo realizado sob irrigação no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina/PI, entre os meses de julho a agosto de 2021. Os genótipos foram representados por uma linhagem elite da classe comercial cores, subclasse verde (MNC00-595F-27), selecionada por seus bons atributos agronômicos (SOUSA et al., 2019) e bom perfil nutricional e funcional pós processamento térmico (artigo 1 deste estudo), e uma cultivar comercial da classe branca, subclasse branco liso (Vagem Roxa-THE), que foi utilizada como padrão comercial para feijão-verde por ser uma cultivar de grande aceitação por parte do consumidor no mercado local.

As amostras de grãos foram transportadas para o Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte para preparo e análise, sendo selecionados manualmente os grãos para remover a sujeira e aqueles fora do padrão. As amostras foram branqueadas em uma proporção feijão/água de 1:2 (p/v) a uma temperatura de 90°C por 5 minutos e posteriormente passaram por um resfriamento em banho de gelo, por um período de 5 minutos. Para a retirada do excesso de água utilizou-se peneira plástica. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em embalagem laminada e armazenados sob congelamento (-18 °C) até o momento das análises, realizada no dia seguinte.

Posteriormente, as amostras foram desidratadas em estufa a 60 °C por 48 horas. Após esse procedimento, os grãos foram triturados em moinho de bolas de zircônia (Retsch, MM200), com a finalidade de obtenção de uma farinha a ser utilizada para as análises. A farinha foi acondicionada em saco de polietileno e mantida em temperatura de refrigeração (4 °C) até o momento das análises, realizada no dia seguinte. Portanto, os genótipos de feijão-caupi imaturos branqueados e congelados foram analisados em base seca e as análises foram realizadas em triplicata.

Composição centesimal e valor energético total (VET)

As análises da composição centesimal foram realizadas segundo a AOAC (2019). O teor de umidade foi determinado por meio do método secagem em estufa com temperatura de 105 °C. O teor de cinzas foi determinado por meio da técnica de incineração em mufla à temperatura de 550 °C. O teor de proteínas foi analisado pelo método de Kjeldahl, utilizando-se como fator de conversão do nitrogênio para proteína 6,25. O teor de lipídeos foi determinado pelo método de Soxhlet. O teor de carboidratos foi determinado por diferença dos demais constituintes da composição centesimal.

O valor energético total (VET) foi calculado conforme Watt e Merrill (1963), usando os fatores de conversão Atwater (carboidratos = 4,0; lipídios = 9,0; proteínas = 4,0).

O teor de fibras alimentares foi determinado de forma indireta, determinando-se o teor de amido pelo método ISI 27-1 (1999). Pesou-se 4 gramas da amostra, adicionou-se com auxílio de uma proveta 80 mL de água destilada em um erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, adicionou-se 0,2 mL de NaOH a 10%. Levou-se à autoclave por 1 hora a um atm. Ao esfriar, transferiu-se para um becker de 100 mL e neutralizou com NaOH 10%, pH 7,0 a 7,2. A amostra foi transferida para balão volumétrico de 100 mL e completou até o menisco com água destilada. Depois de decantado, realizou-se a filtração e colocou-se o filtrado em bureta de 25 mL.

Adicionou-se 5 mL de Fehling A, 5 mL de Fehling B e 40 mL de água destilada, em erlenmeyer, seguido do aquecimento em chapa aquecedora até entrar em ebulição. Manteve-se a ebulição e quando se iniciou a perda da coloração azul, adicionou-se 2 gotas de azul de metileno 1% e prosseguiu-se com a titulação até a formação de um vermelho tijolo no fundo. O teor de amido (%) foi calculado pela seguinte fórmula:

Teor de amido = $V \times f \times 100 \times 0,9 / v \times P$, na qual:

V: Volume final da solução contendo a amostra;

v: Volume de amostra gasto na titulação;

f: fator da solução de Fehling – 0,555;

P: gramas de amostra presente no volume V(4 g).

O teor de fibras alimentares foi determinado por diferença, subtraindo umidade, cinzas, lipídeos, proteínas e amidos. Utilizou-se para o cálculo a seguinte fórmula:

$$\text{Fibras alimentares} = 100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{lipídios} + \text{proteínas} + \text{amidos})$$

Minerais

Para a análise dos teores de minerais (Fe, Zn, Mn, Ca, P, K e Mg), pesou-se 200 mg da amostra e transferiu-se para um tubo de digestão, sendo adicionados 5mL da solução digestora (solução nitro-perclórica, 2:1). Os tubos então foram colocados no bloco digestor por aproximadamente duas horas até atingir 200 °C. Após a digestão, os extratos se apresentaram transparentes e límpidos e com um volume aproximado de 2 mL.

Os extratos dos minerais Fe, Zn e Mn foram avolumados com água destilada até 20 mL, em seguida homogeneizou-se e fez-se a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o comprimento de onda específico de cada elemento a ser analisado no software do equipamento. Os teores de Fe, Zn e Mn foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg 100g⁻¹.

Os extratos dos minerais Ca, P, K e Mg foram avolumados com água destilada até 20 mL. Em seguida, usou-se 200 µL de cada extrato e transferiu-se para um tubo de ensaio, adicionando 3,5 mL de cloreto de estrôncio e 3,3 mL de água destilada, depois homogeneizou-se e prosseguiu-se com a leitura no espectro de absorbância atômica (GBC, B462), selecionando previamente o elemento a ser analisado no software do equipamento. Os teores de Ca, K, P e Mg foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para mg 100g⁻¹. Foram analisados os teores dos minerais utilizando-se a técnica de espectrometria de absorção atômica (HORWITZ, 2000).

Foi analisado o percentual de adequação para os macronutrientes e minerais segundo Ingestão Diária Recomendada (IDR), segundo a Instrução Normativa n° 75, de 8 de outubro de 2020 da ANVISA da linhagem MNC00-595F-27.

Compostos bioativos

Carotenoides totais

O teor de carotenoides foi determinado de acordo com a metodologia de Rodriguez-Amaya (2001). Pesou-se 3 g das amostras juntamente com 2 g de celite, em triplicata, transferindo-se para Erlenmeyer contendo 20 mL de acetona refrigerada, que foi

homogeneizada em mesa agitadora orbital por 10 minutos a 10 rpm. Procedeu-se a filtração a vácuo, em funil de Buchner, utilizando-se papel filtro e lavando-se as amostras com acetona até que o extrato ficasse incolor.

O filtrado foi transferido para um funil de separação, acrescentando-se 30 mL de éter de petróleo e 100 mL de água destilada. Descartou-se a fase inferior e repetiu-se o procedimento por 4 vezes para ocorrer a remoção total da acetona. O extrato superior foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL, completando-se o volume com éter de petróleo. Finalizou-se com a realização da leitura em espectrofotômetro a 450 nm, usando-se como branco o éter de petróleo para zerar o equipamento. O conteúdo de carotenoides foi calculado pela equação a seguir e o resultado expresso em μg de β -caroteno g^{-1} .

$\text{Abs} \times 50 \text{ mL} \times 106 / 100 \times \text{E}1\%1\text{cm} \times \text{P}$, na qual:

Abs: Absorbância da amostra;

E1%1cm: 2592 (coeficiente de absorvidade de β -caroteno em éter de petróleo);

P: peso da amostra.

Flavonoides e antocianinas

Os teores de flavonoides e antocianinas foram determinados segundo a metodologia de Francis (1982). Primeiro pesou-se 3 g das amostras, em triplicata, em um Erlenmeyer envolto com papel alumínio, acrescentando 30 mL da solução de Etanol 95% + HCl 1,5 M previamente elaborada (85:15). Procedeu-se com a homogeneização e transferência do conteúdo para um balão volumétrico de 50 mL (sem filtrar), envolto em papel alumínio, completando-se o volume com etanol 95% + HCl 1,5 M (85:15). O material ficou em repouso por 24 h na ausência de luz e sob refrigeração. Posteriormente, o material foi filtrado e acondicionado em recipiente envolto com papel alumínio. Procedeu-se a leitura em espectrofotômetro a 535 nm para antocianinas e 374 nm para flavonoides amarelos. O branco foi composto pela solução de Etanol-HCl (1,5 M). Para a determinação do teor de antocianinas totais, adotou-se a equação: $\text{absorbância} \times \text{fator de diluição}/98,2$ e o resultado foi expresso em $\text{mg}100\text{g}^{-1}$.

Para calcular o fator de diluição, utilizou-se a gramatura da amostra (3 g) dividida pelo volume de diluição (50 mL). O resultado foi correlacionado para 1 mL (quantidade de g que tem em 1 mL da solução) e determinou-se a quantidade de mL em 100 g. Para a determinação do teor de flavonoides, utilizou-se a equação: $\text{absorbância} \times \text{fator de diluição}/76,6$, seguindo-se o mesmo procedimento descrito acima para o fator de diluição, mudando apenas o comprimento de onda no espectrofotômetro que foi de 374 nm. O resultado foi expresso em $\text{mg}100\text{g}^{-1}$.

Ácido ascórbico (vitamina C)

O teor de ácido ascórbico foi determinado pelo método titulométrico (BRASIL, 1986). Pesou-se 3 g das amostras, em triplicata, em erlenmeyer, adicionando-se 50 mL da solução de ácido oxálico. Depois a solução foi agitada manualmente e titulada com solução de 2,6-diclorofenolindofenol de sódio até ficar coloração rosa persistente. Para preparar o padrão, foi pipetado 10 mL da solução padrão de ácido ascórbico em erlenmeyer contendo 50 mL de solução de ácido oxálico, que foi titulado com solução de 2,6-diclorofenolindofenol de sódio até coloração rosa persistente. Para o cálculo utilizou-se a seguinte equação:

$AA = 100 \times n' / (n/5) \times P$, na qual:

AA: Teor de ácido ascórbico em $mg/100\text{ mL}^{-1}$ ou $mg/100g^{-1}$;

n': Volume de 2,6-diclorofenolindofenol de sódio em mL gastos na titulação da amostra;

N: Volume de 2,6-diclorofenolindofenol de sódio em mL gastos na padronização;

P: Massa da amostra em grama ou volume de amostra usado na titulação.

Obtenção dos extratos para análise de fenólicos totais e atividade antioxidante

Os extratos para análise de fenólicos totais e atividade antioxidante dos grãos imaturos dos genótipos de feijão-caupi foram obtidos utilizando-se solventes de diferentes polaridades: água, etanol e acetona (SOUSA; VIEIRA, LIMA, 2011), obtendo os extratos aquoso, etanólico e acetônico, respectivamente. Pesou-se 5 g de cada amostra e adicionou-se 75 mL de cada solvente. As amostras e os solventes foram homogêneos, seguido de ultrassom em banho-maria (ELMA, Elmasonic P60 H, frequência: 37 KHz, Alemanha), temperatura: 25 °C, por 1 hora. Depois, as amostras foram filtradas e o sobrenadante de cada solvente foi coletado e armazenado em frasco vidro âmbar sob refrigeração a $\pm 4\text{ °C}$ para as posteriores análises.

Fenólicos totais (Polifenóis)

A determinação do teor de fenólicos totais seguiu a metodologia descrita por Swain e Hills (1959). Inicialmente, as amostras foram solubilizadas em água destilada. Das soluções preparadas foram retirados uma alíquota de 0,5 mL e transferidos para tubos de ensaio, adicionando 8 mL de água destilada e 0,5 mL do reagente Folin Ciocalteu 20% (v:v). Em seguida, a solução foi homogênea em agitador tipo vortex, após 3 minutos, acrescido 1 mL de solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 20% (m:v) e após 1 h em banho maria a 37 °C foram realizadas as leituras das densidades óticas em espectrofotômetro à 720 nm. Utilizou-se como padrão de referência o ácido gálico marca Sigma®, para construção da curva de calibração.

A partir da equação da reta ($y = 4,0288x + 0,0025$. $R^2 = 0,9995$) obtida na curva de calibração (Anexo 1), realizou-se o cálculo do teor de fenólicos totais, expresso em mg EAG (equivalente ao ácido gálico g^{-1} de amostra). Todas as análises foram realizadas em triplicata. Para a construção dos gráficos e análises estatísticas utilizou-se o programa GraphPad Prism 7.0®.

Atividade antioxidante pelo método de sequestro do radical livre DPPH

Para realização das análises de atividade antioxidante pelo método DPPH, adicionou-se 1,5 mL da solução etanólica do radical DPPH* ($6 \times 10^{-5}M$) e uma alíquota de 0,5 mL das amostras contendo diferentes concentrações de cada extrato. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 517 nm, após 30 minutos do início da reação. As determinações foram feitas em triplicata acompanhada de um controle negativo (sem antioxidante) e dois controles positivos (padrões: ácido ascórbico e Trolox®, natural e sintético, respectivamente). A queda na leitura da densidade ótica das amostras foi correlacionada com o controle (somente o radical), estabelecendo-se a porcentagem de descoloração do radical DPPH* conforme fórmula a seguir:

$$\% \text{ de inibição do radical DPPH}^* = [(Abs_{\text{controle}} - Abs_{\text{amostra}}) / Abs_{\text{controle}}] \times 100, \text{ na qual:}$$

Abs: absorvância.

Além do percentual de proteção, calculou-se também a concentração eficaz para inibir 50% do radical DPPH* (CE_{50}) (BRAND-WILLIAMS et al., 1995; VIEIRA et al., 2011).

Atividade antioxidante pelo método ABTS

O radical $ABTS^{*+}$ foi gerado a partir da reação de 7 mM de ABTS com 2,45 mM de persulfato de potássio, sendo reservados à temperatura ambiente e na ausência de luz, por 12-16 horas. Transcorrido esse período, a solução foi diluída em etanol P.A. até obter-se uma solução com absorvância de 0,70 ($\pm 0,01$). Adicionou-se 40 μL das amostras diluídas (em etanol) a 1960 μL da solução contendo o radical, determinando-se a absorvância em espectrofotômetro a 734 nm, após 30 minutos de reação (RE et al., 1999, adaptado por LIMA, 2008). Como solução padrão, usou-se o antioxidante sintético Trolox® análogo da vitamina E, para construção de uma curva de calibração ($y = -0,622x + 0,6554$. $R^2 = 0,9998$) (Anexo 2). Todas as leituras foram realizadas em triplicata, e os resultados foram expressos em TEAC – Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox® (mM de Trolox® por mg/amostra) e CE_{50} (concentração da amostra eficaz para inibir 50% do radical $ABTS^{*+}$).

Análises estatísticas

Com base nos dados, foram realizadas análises de variância e as médias entre genótipos foram comparadas pelo teste de *t* de Student. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição centesimal e valor energético total (VET)

Os resultados da composição centesimal e valor energético total (VET) dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição centesimal e valor energético total (VET) de grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi*. Teresina/PI, 2021.

Característica	Genótipo	
	MNC00-595F-27	Vagem Roxa-THE
Umidade (g 100g ⁻¹)	53,68±0,58 ^a	53,81±1,72a
Cinzas (g 100g ⁻¹)	4,07±0,16 ^a	3,74±0,21b
Lipídeos (g 100g ⁻¹)	3,25±0,45 ^a	1,48±1,00b
Proteínas (g 100g ⁻¹)	27,61±0,40 ^a	25,43±0,52b
Fibras alimentares (g 100g ⁻¹)	36,35±4,93 ^a	41,25±2,86b
Carboidratos (g 100g ⁻¹)	28,75±0,69 ^a	28,10±0,28a
VET (Kcal 100g ⁻¹)	249,07±2,62 ^a	246,47±5,84b

Média de três repetições ± desvio-padrão (DP). Médias com letras minúsculas diferentes nas linhas diferem significativamente pelo teste *t* de Student ($p < 0,05$). *Dados em base seca, com exceção da umidade que está em base úmida. Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2021.

Os genótipos avaliados não diferiram para o teor de umidade dos grãos imaturos branqueados e congelados, mas diferiram significativamente ($p < 0,5$) para os teores de lipídeos, proteínas, cinzas e fibras. A linhagem MNC00-595F-27 apresentou maiores teores de cinzas, lipídeos, proteínas, fibras alimentares e VET quando comparada com a testemunha (Vagem

Roxa-THE), demonstrando superioridade para a maioria dos componentes da composição centesimal nos grãos imaturos branqueados e congelados.

Em estudo realizado por Lima et al. (2003) ao avaliarem o teor de proteínas de grãos imaturos cozidos em conserva de 12 genótipos de feijão-caupi obtiveram variação de 22% a 27% (b.s.). Esses valores são inferiores ao observado no presente estudo para os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27, que apresentou teor de 27,61% de proteínas.

Em estudo realizado por Melo et al. (2017), analisando a composição dos grãos imaturos cozidos de quatro cultivares de feijão-caupi, observaram as seguintes variações: 0,83% a 1,09% de cinzas, 10,33% a 13,13% de proteínas, 1,57% a 2,36% de lipídeos, 25,22% a 28,50% de carboidratos (b.s.). Resultados superiores foram observados no presente estudo em relação aos teores de proteínas, lipídeos e cinzas para os grãos imaturos branqueados e congelados dos dois genótipos avaliados, com variações de 25,43% a 27,61%, 1,48% a 3,25% e 3,74% a 4,07%, respectivamente.

Bezerra et al. (2019), avaliando a composição química de grãos secos cozidos de oito cultivares de feijão-caupi obtiveram as seguintes variações: 0,95% a 1,26% de cinzas, 0,31% a 0,38% de lipídeos, 7,48% a 11,88% de proteínas, 18,79% a 22,98% de carboidratos e 117,44 a 129,22 Kcal 100g⁻¹ de VET; valores esses, inferiores aos observados para os grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos avaliados no presente estudo.

O branqueamento é um processo de conservação que utiliza temperaturas mais brandas e um tempo menor, por isso, é esperado que vegetais branqueados possuam um conteúdo maior de nutrientes quando comparados aos vegetais cozidos.

Essas variações nos teores de nutrientes observadas nos diferentes trabalhos podem ser devido ao genótipo e/ou aos fatores ambientais que ocorrem durante o crescimento da planta e desenvolvimento da semente. Os fatores ambientais que influenciam a qualidade do feijão incluem as altas e baixas temperaturas na fase de enchimento de grãos, manejo da cultura, beneficiamento e pós-colheita, condições de estocagem e tecnologia de processamento (DALLA CORTE et al., 2003).

Minerais

Os resultados referentes às análises de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi são mostrados na Tabela 2. Os genótipos não diferiram para os teores de Mg, Fe e Zn, mas diferenças significativamente ($p < 0,05$) para os teores de Ca, P, K e Mn. A linhagem MNC00-595F-27 apresentou maiores teores de P (504,33

g 100g⁻¹) e K (1.213 g 100g⁻¹) e menores teores de Ca e Mn, quando comparada à testemunha (Vagem Roxa-THE).

Tabela 2. Teor de minerais de grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi (base seca). Teresina/PI, 2021.

Mineral	Genótipo/Teor em mg 100g ⁻¹ (base seca)	
	MNC00-595F-27	Vagem Roxa-THE
Ca	83,33±7,00b	108,66±10,02a
Mg	168,67±5,51a	161,33±6,66a
P	504±17,21a	456,33±17,62b
K	1.213,00±43,31a	1.115,00±35,93b
Fe	5,97±0,15a	6,19±0,21a
Zn	3,51±0,14a	3,33±0,19a
Mn	1,10±0,03b	1,40±0,05a

Média de três repetições ± desvio-padrão. Médias com letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste t de Student (p<0,05). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2021. Legenda: Ca= cálcio, Mg=Magnésio, P=fósforo, K=Potássio, Fe=Ferro, Zn= Zinco e Mn=Manganês).

Em estudo realizado por Costa (2014) em grãos imaturos cozidos de quatro cultivares de feijão caupi, observaram-se as seguintes variações nos teores de Ca: 52,99 a 91,47 mg 100g⁻¹; K: 711,84 a 1001,96 mg 100g⁻¹; Mg: 110,14 a 147,85 mg 100g⁻¹; P: 341,78 a 447,57 mg 100g⁻¹; Mn: 1,40 a 1,76 mg 100g⁻¹; Fe: 5,55 a 6,44 mg 100g⁻¹; e Zn: 4,36 a 5,06 mg 100g⁻¹. Fazendo uma comparação com o presente estudo, os teores de Ca, K, Mg e P foram maiores que do estudo de Costa (2014), porém, inferiores para os teores de Fe, Zn e Mn.

As condições empregadas durante o processamento, como a quantidade de água, tempo e temperatura utilizadas, dentre outros fatores, podem favorecer a eliminação dos minerais para o caldo. Dessa forma, esse fato justifica as diferenças observadas no conteúdo de minerais nos diferentes estudos que analisaram os grãos imaturos de genótipos de feijão-caupi.

Os teores dos nutrientes que foram avaliados neste estudo para os grãos imaturos de feijão-caupi, a ingestão diária recomendada, a concentração de nutrientes em 100g de grãos imaturos e o percentual de adequação da IDR para um indivíduo adulto sadio (ANVISA, 2020) são apresentados na Tabela 3.

Pode-se observar, a partir da interpretação da Tabela 3, que a linhagem MNC00-595F-27 apresentou alto teor de minerais (Mg, P, K, Fe, Zn e Mn), além de altos teores de fibras alimentares e proteínas, com percentual de adequação superior a 30% da Ingestão Diária Recomendada (IDR), segundo a Instrução Normativa n° 75, de 8 de outubro de 2020 (ANVISA,

2020). Isso demonstra o potencial nutricional da linhagem MNC00595F-27 para futuro lançamento como cultivar para o mercado de grãos imaturos processados.

Tabela 3. Comparativo da Ingestão Diária Recomendada (IDR) com a oferta de nutrientes em 100g de grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem elite de feijão caupi MNC00-595F-27, porcentagem de adequação e classificação quanto a concentração de nutrientes.

Nutriente	IDR	100g de grãos imaturos(base seca)	Adequação (%)	Classificação
Carboidratos	300g	28,75g	9,58%	Baixo
Proteínas	50g	27,61g	55,22%	Alto conteúdo
Lipídeos	65g	3,25g	5%	Baixo
Fibras alimentares	25g	36,35g	145%	Alto conteúdo
Cálcio	1000mg	83mg	8,3%	Baixo
Magnésio	420mg	169mg	40,2%	Alto conteúdo
Fósforo	700mg	504mg	72%	Alto conteúdo
Potássio	3500mg	1.213mg	35%	Alto conteúdo
Ferro	14mg	5,97mg	43%	Alto conteúdo
Zinco	11mg	3,51mg	32%	Alto conteúdo
Manganês	3mg	1,10mg	37%	Alto conteúdo

Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2021. Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020 (ANVISA, 2020).

Compostos bioativos

Assim como em outras leguminosas, o feijão-caupi apresenta substâncias polifenólicas na composição de seus grãos, principalmente no tegumento, sendo a cor do tegumento determinada pela presença de antocianinas, flavonoides e taninos condensados (BENINGER; HOSFIELD, 2003).

O teor de fenólicos totais nos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi (MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE) utilizando diferentes extratos é apresentado Tabela 4.

Tabela 4. Teor de fenólicos totais em grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi utilizando três diferentes extratos (base seca). Teresina/PI, 2021.

Genótipo	Fenólicos totais (mg EAG g ⁻¹ de amostra)		
	Extrato aquoso	Extrato etanólico	Extrato acetônico
MNC00-595F-27	17,50±0,65aA	6,74±0,51bB	6,82±0,73aB
Vagem Roxa-THE	12,86±0,87bA	8,73±0,76aB	5,92±0,57aC

Média de três repetições ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste t de Student (p<0,05). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2021.

Observou-se que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre genótipos de feijão-caupi para o teor de fenólicos totais nos grãos imaturos branqueados e congelados por extrato utilizado, exceto para o extrato acetônico (Tabela 4). A linhagem MNC00-595F-27 foi superior à testemunha no extrato aquoso, enquanto a testemunha foi superior à linhagem no extrato etanólico. Isso mostra que tanto o genótipo quanto o solvente utilizado para extração podem influenciar o teor de fenólicos totais nos grãos imaturos branqueados e congelados de feijão-caupi.

Em um estudo conduzido por Vieira, Bezerra, Santos (2021) em grãos imaturos crus e cozidos de oito cultivares de feijão-caupi, obtiveram teores de fenólicos totais que variaram de 26,05 a 46,29 mg 100g⁻¹ para os grãos imaturos cozidos utilizando extração etanólica; valores esses, superiores aos obtidos no presente trabalho.

Bezerra (2015) ao analisar os grãos secos cozidos de cultivares de feijão-caupi observaram teores de fenólicos totais variando de 12,43 a 15,39 mg 100g⁻¹, teores semelhantes ao observado no presente estudo para a linhagem MNC00-595F-27 (17,50 mg 100g⁻¹) e para a cultivar comercial Vagem Roxa-THE (12,86 mg 100g⁻¹) utilizando extração aquosa.

Segundo Moreira-Araújo et al. (2018), vários fatores podem interferir no teor de compostos fenólicos em legumes, como fatores genéticos e ambientais, além dos inerentes às condições de extração destes compostos na matriz alimentar, como a categoria de solvente utilizado, por exemplo.

De acordo com Naczki; Shahidi, (2004) a extração de compostos fenólicos de produtos naturais é influenciada pelo solvente utilizado na extração. Soluções aquosas, de etanol, metanol e acetona são frequentemente usadas, em diferentes concentrações, e sua eficácia dependerá de alguns fatores, como da polaridade dos polifenóis presentes na amostra, do grau de polimerização e da interação com outros constituintes.

Dessa forma, isso pode justificar as diferenças observadas nos teores destes compostos no presente trabalho, quando comparados com outros estudos.

Com relação aos diferentes solventes utilizados para a extração dos fenólicos totais por genótipo (Tabela 4), observou-se que o teor de fenólicos totais variou entre extratos para ambos os genótipos, com o extrato aquoso diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos extratos etanólico e acetônico, enquanto esses dois últimos diferiram entre si apenas para a testemunha (Vagem Roxa-THE). O extrato aquoso proporcionou maior teor de fenólicos totais em ambos os genótipos, sendo um resultado relevante, visto que é em meio aquoso que o feijão é preparado e consumido.

Os compostos bioativos (flavonoides, antocianinas, vitamina C e carotenoides) avaliados nos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi (MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE) são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Compostos bioativos dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos feijão-caupi (base seca). Teresina/PI, 2021.

Genótipo	Flavonoides (mg EQ quercetina 100g ⁻¹)	Antocianinas (mg EQ cianidina-3- glucosídeo 100g ⁻¹)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)	Carotenoides (µg de β- caroteno g ⁻¹)
MNC00-595F-27	10,25±0,37a	1,13±0,08a	26,55±1,40a	1828,00±31,95a
Vagem Roxa-THE	7,30±0,20b	0,53±0,05b	15,33±0,55b	333,67±25,03b

Média de três repetições ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student (p<0,05). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2021.

De acordo com os resultados, observou-se que a linhagem MNC00-595F-27 diferiu significativamente (p<0,05) da testemunha (Vagem Roxa-THE) para todos os compostos bioativos analisados (Tabela 5). Um aspecto que pode explicar os maiores teores de compostos bioativos, especialmente flavonoides, antocianinas e carotenoides, da linhagem MNC00-595F-27, comparados com a cultivar comercial Vagem Roxa-THE é a cor do tegumento do grão, que no caso da linhagem MNC00-595F-27 é verde e da cultivar Vagem Roxa-THE é branco. Segundo Sombié et al. (2018) e Madeira et al. (2021), a cor do tegumento do grão de feijão-caupi está associada positivamente com os teores de compostos bioativos e a atividade antioxidante.

Em um estudo realizado por Vieira, Bezerra e Santos (2021) em grãos imaturos cozidos de oito cultivares de feijão-caupi, analisaram os teores de compostos bioativos e obtiveram as seguintes variações: ácido ascórbico (vitamina C): 4,23 a 6,02 mg 100g⁻¹; carotenoides: 0,38 a 1,03 µg 100g⁻¹; flavonoides: 5,29 a 6,60 mg 100g⁻¹; e antocianinas: 0,04 a 0,34 mg 100g⁻¹. Esses teores são inferiores aos encontrados no presente estudo para todos os compostos analisados.

São vários os fatores que interferem no conteúdo de compostos bioativos em grãos de leguminosas, tais como fatores genéticos, condições agrônomicas e ambientais como a sazonalidade, temperatura, disponibilidade hídrica, radiação ultravioleta, adição de nutrientes, poluição atmosférica, danos mecânicos e ataque de patógenos (DAIUTO et al., 2014).

As diferenças nos teores de compostos bioativos observados nos estudos quando comparados com o presente trabalho podem também ser justificadas pelo poder de extração desses compostos da matriz alimentar, podendo ser afetado pelo tipo de solvente usado, grau

de polimerização, tempo e temperatura de extração, bem como pela interação dos compostos bioativos com outros constituintes do alimento, além da metodologia empregada (GOBBO-NETO, LOPES, 2007).

Atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi (MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE) analisada pelos métodos de captura dos radicais livres DPPH e ABTS utilizando três diferentes solventes de extração são mostradas nas Tabela 6.

Tabela 6. Atividade antioxidante dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi determinada pelo método de sequestro do radical DPPH e ABTS utilizando três diferentes solventes de extração (base seca). Teresina/PI, 2021.

Genótipo	Atividade antioxidante pelo método DPPH		
	Extração Aquosa (EC ₅₀ mg mL ⁻¹)	Extração etanólica (EC ₅₀ mg mL ⁻¹)	Extração acetônica (EC ₅₀ mg mL ⁻¹)
MNC00-595F-27	15,72±0,73aA	4,94±0,02aB	5,06±0,24aB
Vagem Roxa-THE	9,06±0,73bA	3,51±0,05bC	5,19±0,16aB
Genótipo	Atividade antioxidante pelo método ABTS		
	Extração aquosa (mM Trolox g ⁻¹)	Extração etanólica (mM Trolox g ⁻¹)	Extração acetônica (mM Trolox g ⁻¹)
MNC00-595F-27	140,77±1,18aA	19,98±0,77bC	50,68 ±1,26bB
Vagem Roxa-THE	107,92±1,50bA	28,72±0,81aC	56,49 ±0,64aB

Média de três repetições ± desvio-padrão. Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste t de Student (p<0,05). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2021.

Método DPPH

Os resultados da atividade antioxidante pelo método DPPH foram expressos em concentração de extrato para atingir 50% da atividade antioxidante (EC₅₀ - concentração efetiva de reduzir um radical livre em 50%). Quanto menor o valor de EC₅₀, maior a atividade antioxidante da amostra.

A cultivar Vagem Roxa-THE apresentou concentração de EC₅₀ menor que a linhagem MNC00-595F-27 nos extratos aquoso e etanólico para reduzir em 50% o radical DPPH, demonstrando que essa cultivar possui um maior poder em combater radicais livres do que a linhagem MNC00-595F-27. No entanto, no extrato acetônico, os dois genótipos não diferiram

entre si, apresentando atividades antioxidantes similares. A forma de extração que proporcionou maior atividade antioxidante pelo método DDPH foi a etanólica.

Pinheiro et al. (2013), avaliando os grãos secos cozidos de três linhagens de feijão-caupi, observaram valores de atividade antioxidante pelo método DPPH, expressos na forma de EC_{50} , variando de 25,83 a 79,85 $mg L^{-1}$. Vieira, Bezerra e Santos (2021), analisando os grãos imaturos cozidos de oito cultivares de feijão-caupi, obtiveram valores de atividade antioxidante pelo método DPPH, expressos na forma de EC_{50} , variando de 126,32 a 276,11 g feijão g DPPH $^{-1}$. Os valores encontrados pelos autores acima são maiores do que os observados no presente trabalho, indicando que os grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos avaliados neste estudo apresentam uma maior capacidade antioxidante pelo método DPPH (EC_{50}).

Método ABTS

Os genótipos diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre si para a atividade antioxidante pelo método ABTS em cada forma de extração. A linhagem MNC00-595F-27 apresentou maior atividade antioxidante quando o solvente de extração utilizado foi o aquoso, enquanto a cultivar Vagem Roxa-THE foi superior à linhagem MNC00-595F-27 em atividade antioxidante quando foram utilizadas extrações etanólica e acetônica. A forma de extração que proporcionou maior atividade antioxidante pelo método ABTS foi a aquosa.

Abreu et al. (2019), estudando os grãos secos cozidos de duas cultivares de feijão-caupi, observaram valores de atividade antioxidante pelo método de sequestro do radical ABTS variando de 428,88 a 528,92 em μmol de Equivalente ao Trolox $100 g^{-1}$, sendo superiores aos valores observados no presente estudo. Já no estudo realizado por Cunha et al. (2020) em grãos secos crus de linhagens de feijão-caupi, os valores de atividade antioxidante pelo método ABTS variaram de 11,93 a 12,24 $mMol$ TEAC g^{-1} , sendo inferiores aos observados nas três formas de extração analisadas no presente estudo.

A maior atividade antioxidante da linhagem MNC00-595F-27 pelo método ABTS com extração aquosa pode ser justificado por esse genótipo ter apresentado os maiores teores de flavonoides, antocianinas, vitamina C e carotenoides (Tabela 5) e fenólicos totais com extração aquosa (Tabela 4), contribuindo, assim, para uma maior capacidade de inibição dos radicais livres. No entanto, a cultivar comercial Vagem Roxa-THE foi superior em atividade antioxidante pelo método ABTS nos extratos cetônico e etanólico.

CONCLUSÕES

Os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 apresentaram melhor perfil de minerais e de proteínas que a cultivar comercial Vagem Roxa-THE, demonstrando seu potencial para futuro lançamento como cultivar para o mercado de feijão-verde processado.

Os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 apresentaram perfil dos compostos bioativos flavonoides, antocianinas, vitamina C e carotenoides) e fenólicos totais superiores a cultivar comercial Vagem Roxa-THE.

Os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 apresentaram maior atividade antioxidante do que a cultivar comercial Vagem Roxa-THE pelo método ABTS, com extração aquosa, porém, inferior ao padrão comercial pelo método DPPH (EC_{50}), com extração aquosa ou etanólica, demonstrando ser uma boa fonte de compostos bioativos e um alimento com função antioxidante para promoção da saúde do consumidor de feijão-verde.

REFERÊNCIAS

ABREU, B. B.; BARROS, N. V. A.; ARAÚJO, M. A. M.; ROCHA, M. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Compostos fenólicos e atividade antioxidante em cultivares biofortificadas de feijão-caupi antes e depois do cozimento. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 5., Fortaleza, 2019. **Anais ...**Fortaleza: UFC, 2019.

ÁLVARES, R. C. **Escurecimento de grãos em feijão: parâmetros genéticos e fenotípicos, associação com tempo de cocção, seleção assistida por marcadores e obtenção de linhagens elite.** 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods.** 4th ed, Washington: APHA, 2001. 676 p.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. de M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RODRIGUES, E. V.; SILVA, L. R. A. Potencial nutricional e culinário de linhagens de tegumento e cotilédone verdes para o mercado de feijão-caupi verde. In: REUNIÃO DE

BIOFORTIFICAÇÃO, 4., Teresina, 2011. **Anais...Teresina/Rio de Janeiro: Embrapa Meio-Norte/Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011.**

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 232-240, 2007.

ANVISA – Agência Brasileira de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020.** Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Brasília, DF: Anvisa, 2020. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-75-de-8-de-outubro-de-2020-282071143>>. Acesso em: 24 de fev. 2023.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 21. ed. Rockville: AOAC International, 2019. Disponível em: < <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019>>. Acesso em: 27 de fev. 2023.

BARROS, N. V. A. **Influência do cozimento na composição centesimal, minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante de cultivares de feijão-caupi.** 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

BENINGER, C. W.; HOSFIELD, G. L. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 27, p. 7879-7883, 2003.

BEZERRA, J. M. **Quantificação de compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi.** 2015. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2015.

BEZERRA, J. M.; VIEIRA, M. M. S.; SANTOS, A. F.; FARIAS, E. T. R.; LOPES, M. F.; SOUZA, A. S. Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. **Revista Verde**, v. 14, n. 1, p. 41-47, 2019.

BRACKMANN, A. E.; CHITARRA, A. B. Atmosfera controlada e atmosfera modificada. In: BOREM, F. M.; CHITARRA, A. B. **Armazenamento e processamento de produtos agrícolas**. Poços de Caldas- MG: UFLA/SBEA, cap.4, p.134-169, 1998.

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos. 187).

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 161 de 01 de julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Diário Oficial da União, de 06 de julho de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução Normativa nº 216 de 15 de setembro de 2004**. Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20Regulamento%20T%C3%A9cnico%20de%20Boas%20Pr%C3%A1ticas%20para%20Servi%C3%A7os%20de%20Alimenta%C3%A7%C3%A3o.&text=todo%20territ%C3%B3rio%20nacional%3B,Pr%C3%A1ticas%20para%20Servi%C3%A7os%20de%20Alimenta%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 28 de fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 724 de 01 de julho de 2023**. Dispõe sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação. Diário Oficial da União, de 06 de julho de 2023.

BRITO, E. S. **Feijão-caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 1ª edição, 2008.

CARVALHO, A. F. U. et al. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1/2, p. 81-88, 2012.

CARVALHO, M.; CARNIDE, V.; SOBREIRA, C.; CASTRO, I.; COUTINHO, J. BARROS, A.; ROSA, E. Cowpea immature pods and grains evaluation: an opportunity for different food source. **Plants**, v. 11, p. 1-15, 2022.

CAVALCANTE, R. B. M.; ARAÚJO, M. A. M.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Effect of thermal processing on total polyphenol content in the grain of cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 806-810, 2017.

CAVALCANTE, R. B. M.; ARAÚJO, M.A. M.; ROCHA, M. M.; MOREIRA-ARAÚJO R. S. R. Effect of thermal processing on chemical compositions, bioactive compounds, and antioxidant activities of cowpea cultivars. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1050-1058, 2017.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA. 2005. 785 p.

COELHO, J. D. **Produção de grãos: feijão, milho e soja**. Caderno setorial ETENE 3, 1-14, 2018.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2021/2022, 12º levantamento, setembro de 2022**. Brasília, DF: CONAB, v. 9, n. 12. Disponível em: [https:// www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos](https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos)>. Acesso em: 03 Fev. 2023.

COSTA, N. Q. **Características nutritivas e sensoriais de formulações de baião- de-dois elaboradas a partir de arroz integral e feijão-caupi biofortificados**. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

CUNHA, E. M. F.; FREITAS, T. K. T.; PINHEIRO, E. M.; ROCHA, M. M.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Compostos fenólicos e atividade antioxidante em linhagens de feijão-caupi (capítulo 1). In: SILVA-MATOS, R. R. S.; OLIVEIRA, A. R. F.; CORDEIRO, K. V. (Org.). **A transformação da agronomia e o perfil do novo profissional**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. cap. 1, p. 1-6.

DALLA CORTE, A. et al. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 193-202, 2003.

DIAS, E. C. S.; SOUZA, N. P.; ROCHA, É. F. F. Branqueamento de alimentos: uma revisão bibliográfica. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN. 9., 2013. **Tecnologia e inovação para o semiárido**. Anais... Currais Novos: IFRN, 2013.

ELHARDALLOU, S. B. Amino acid composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) flour and its protein isolates. **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, p.790-797, 2015.

FENG, Y.; WU, B.; YU, X.; YAGOUB, A. E. A.; SARPONG, F.; ZHOU, C. Effect of catalytic infrared dry-blanching on the processing and quality characteristics of garlic slices. **Food Chemistry**, v. 16, p. 266-309, 2018.

FERNANDES, A. C.; CALVO, M. C. M.; PROENÇA, R. P. C. Técnicas de pré-preparo de feijões em unidades produtoras de refeições das regiões Sul e Sudeste do Brasil. **Revista de Nutrição**, v. 25, n. 2, p. 259-269, 2012.

FREIRE-FILHO et al. Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 3, p. 286-290, 2007.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, p. 374-381, 2007.

HORWITZ, W.; LATIMER JR., G. (Eds.) **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2005. Cap. 50, methods 985.35 e 984.27, p.15-18. Current Through Revision 1, 2006.

LI, F. et al. Antioxidant activity of gallic acid from rose flowers in senescence accelerated mice. **Life Sciences**, v. 77, n. 2, p. 230-240, 2005.

LIMA, E. D. P. A. et al. 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**, v. 7, n. 1, p. 129-134, 2003.

LIMA, N. L. et al. Estudo sobre a conservação de quatro variedades de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* L. Walp.): submetidos a temperaturas de refrigeração e congelamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 2, p. 57-69, 2000.

LIMA, N. L.; EMANUELLE, C.; SILVA, C. L.; DINIZ, M. C.; OLIVEIRA, M. R. T.; GADELHA, T. S. Estudo sobre a conservação de quatro variedades de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* L. Walp.) submetidos a temperaturas de refrigeração e congelamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 2, p. 57-69, 2000.

MAHARAJ, R.; ARUL, J.; NADEAU, P. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. **Postharvest Biology and Technology**, v.15, n.1, p. 13-23, 1999.

MELO, N. Q. C.; MOREIRA-ARAÚJO R. S. R.; ARAÚJO, M. A.; ROCHA, M. M. Chemical characterization of green grain before and after thermal processing in biofortified cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 811-816, 2017.

MENDONÇA, C. DE A.; BARROSO NETO, A. M.; BERTINI, C. H. C. DE M.; AMORIM, M. Q.; ARAÚJO, L. B. R. Caracterização fenológica associada a graus-dia em genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 485-496, 2015. Disponível em:<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/Caracterizacao%20fenologica.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2023.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; SAMPAIO, G. R.; SOARES, R. A. M.; SILVA, C. P.; ARAÚJO, M. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Identification and quantification of phenolic compounds and antioxidant activity in cowpeas of BRS Xiquexique cultivar. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 209-216, 2018.

NACZK, M., SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v. 1054, p. 95-111, 2004.

NESPOLO, C. R.; OLIVEIRA, F. A.; PINTO, F. S. T.; OLIVEIRA, F. C. **Práticas em tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2015. 220 p.

NEVES, F. I. G.; VIEIRA, M. C.; SILVA, C. L. M. Inactivation kinetics of peroxidase in zucchini (*Cucurbita pepo* L.) by heat and UV-C radiation. **Innovative Food Science and Emerging Technology**, v. 13, p. 62-158, 2012.

NUNES, L. N. et al. Composição química de grãos verdes de genótipos de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1. REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio**. Anais... Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C (Org.). **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. Natal: Editora IFRN, 2015. 234 p.

PADERMO, S. S. H. **Influência do processamento e do processo digestivo in vitro na bioacessibilidade de compostos fenólicos do feijão comum**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

PEREIRA, C. S.; SILVA, V. V. S.; JARDEL ALVES DA COSTA; ROCHA, R. S.; PESSOA, W. R. L. S.; MARTINS, J. V. S. Avaliação microbiológica de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) imaturo sob diferentes tratamentos pós-colheita. **Ensaio e Ciência**, v. 25, n. 1, p. 50-54, 2021.

PINHEIRO, E. M. **Caracterização química, poder antioxidante e efeito do cozimento de genótipos de feijão-caupi**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

PINHEIRO, E. M.; PORTO, R. G. C. L.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO R. S. R.; ROCHA, M.; de M. Capacidade antioxidante e efeito do cozimento em genótipos elite de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., Recife, 2013. **Anais...**Recife: IPA, 2013.

ROCHA, M. M. Mercado e comercialização. In: **Feijão-caupi**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2021. (Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Árvores do

Conhecimento. Cultivos). Disponível em: < mbrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/socioeconomia/mercado-e-comercializacao>. Acesso em: 26 de fev. 2023.

ROCHA, M. M. Tecnologia pós-colheita. In: **Feijão-caupi**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2021. (Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Árvores do conhecimento). Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pos-producao/tecnologia-pos-colheita>>. Acesso em: 27 de fev. 2023.

SÁ, L. G.; SANTOS, M. R.; BORTOLUZZI, R.; NETO, S. W. R. Armazenamento de feijão verde em diferentes embalagens e ambientes. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 3348-3355, 2014.

SALGADO, S. M. et al. Caracterização físico-química do grânulo do amido do feijão-caupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 525-530, 2005.

SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; OLIVEIRA, I. A.; PEREIRA, C. E.; CAMPOS, M. C. C. Crescimento de cultivares de feijão-caupi em solo de terra firme e várzea. **Ambiência Guarapuava**, v. 13, n. 1, p. 261-270, 2017. Disponível em: < <http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/2376/pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SANTOS, M. S. **Efeitos das condições de armazenamento sobre parâmetros de avaliação tecnológicos e nutricionais de feijão-caupi de tegumento branco**. 2016. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Pelotas, 2016.

SAS - Statistical Analysis System. **SAS/STA User's Guide: statistics**. Version 9.1. edition. Cary NC: SAS Inc., 2012.

SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seed extracts. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 10-19, 2007.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição da PUCCAMP**, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOUSA, G. A.; HERNANDES, E. E.; DAMASCENO, S. S.; MATTAR, E. P. L.; SIVIERO, A. Qualidade de feijão-caupi crioulo do Alto Juruá armazenado em embalagem a vácuo. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 2, n. Edição especial, 2021.

SOUSA, J. L. M.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NEVES, A. C.; SOUSA, R. R. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 392-398, 2015.

SOUSA, T. J. F. et al. Simultaneous selection for yield, adaptability, and genotypic stability in immature cowpea using REML/BLUP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e01234, 2019.

SULTANA, B.; ANWAR, F.; IQBAL, S. Effect of different cooking methods on the antioxidant activity of some vegetables from Pakistan. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 560-567, 2008.

TAVARES, E. M. O.; ASSIS, C. F.; LIMA, P. O.; LIMA, P. D. S.; LIMA, R. R. C.; DAMASCENO, K. S. F. S. C. Blanching Effect on the Quality and Shelf-Life Characteristics of Fresh Cowpea Grains [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Foods**, v. 11, 1295, 2022.

TAVARES, R. M. O.; MEDEIROS, P. V. D.; DAMASCENO, K. S. F. S. C. Aplicação do branqueamento: influência na cor e composição centesimal do feijão-verde (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS, 13., Campinas, 2019. **Anais...**Campinas, SBCTA, 2019.

TAVARES, R.M. de O. Efeito do branqueamento e estudo cinético para o beneficiamento do feijão-verde [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. 2020. 107 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

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**, v. 28, n. 2, p. 355-360, 2008.

VASCONCELOS, I. M. et al. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, p. 54-60, 2010.

VASCONCELOS, M. A. S.; MELO FILHO, A. B. Conservação de Alimentos. **Escola Técnica Aberta do Brasil**. Recife: EDUFRPE, 2010.

VIEIRA, M. M. S.; BEZERRA, J. M.; SANTOS, A. F. Avaliação dos compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) imaturo cru, cozido e seus caldos de cocção. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e3710716243, 2021.

WANG, J.; FANG, X. M.; MUJUMDAR, A. S.; QIAN, J. Y.; ZHANG, Q.; YANG, X. H. et al. Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.). **Food Chemistry**, v. 48, n. 49, p. 145-220, 2017.

WATT, B.; MERRILL, A. L. **Composition of foods: raw, processed, prepared**. Washington: Agricultural Research Service, 1963. 198p.

XIAO, H. W.; PAN, Z.; DENG, L. Z.; EL-MASHAD, H. M.; YANG, X. H.; MUJUMDAR, A. S.; GAO, Z. J.; ZHANG, Q. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. **Information Process in Agriculture**, v. 4, n.2, p. 27-101, 2017.

ARTIGO 3

VIDA DE PRATELEIRA DE GRÃOS IMATUROS DE FEIJÃO-CAUPI BRANQUEADOS E CONGELADOS EM DIFERENTES EMBALAGENS

RESUMO - A valorização de vegetais frescos, como o feijão-caupi imaturo, tem demonstrado um crescimento nos últimos anos, favorecendo o aumento gradativo na aquisição desses produtos pelos consumidores e garantindo maior rentabilidade para os agricultores. Como reflexo destas mudanças na procura por esses alimentos, novas possibilidades vêm surgindo no que diz respeito à produção de alimentos prontos para o preparo ou consumo. O objetivo deste estudo foi avaliar a composição centesimal e mineral, além das características microbiológicas, dos grãos imaturos branqueados (90°C/5 min) de dois genótipos de feijão-caupi (linhagem MNC00-595F-27 e cultivar comercial Vagem Roxa-THE) conservados sob congelamento em dois tipos de embalagens (laminada e de polietileno) em seis meses de armazenamento. A composição centesimal e mineral foi analisada no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte. Os dados foram analisados estatisticamente, sendo realizadas análises de variância e as médias dos genótipos foram comparadas pelos testes de t de Student ($p < 0,05$) e as médias dos meses de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises microbiológicas de *Salmonella sp.*, coliformes a 35 °C e a 45 °C e contagem de bactérias mesófilas e psicotróficas foram realizadas no NUEPA/UFPI. Os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27 apresentaram maiores teores de umidade, lipídeos e proteínas na embalagem de polietileno, enquanto para cinzas e carboidratos, os teores foram maiores na embalagem laminada. A embalagem laminada conservou melhor os minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados na linhagem MNC00-595F-27, quando comparada com o padrão comercial Vagem Roxa-THE e a embalagem de polietileno. Os grãos imaturos dos dois genótipos branqueados a uma temperatura de 90°C por cinco minutos e resfriamento em banho de gelo por cinco minutos e armazenados sob congelamento por quatro meses em embalagem de polietileno e seis meses em embalagem laminada, mantêm-se livres de micro-organismos. A linhagem elite de feijão-caupi MNC00-595F-27 mantém melhor qualidade em armazenamento de seis meses na embalagem laminada, sendo potencial candidata a cultivar para o mercado de grãos imaturos branqueados e congelados.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Feijão-verde. Branqueamento. Congelamento. Armazenamento.

SHELF LIFE OF BLANCHED AND FROZEN IMMATURE COWPEA GRAINS IN DIFFERENT PACKAGES

ABSTRACT – The appreciation of fresh vegetables, such as immature cowpea, has grown in recent years, favoring a gradual increase in the purchase of these products by consumers and ensuring greater profitability for farmers. As a reflection of these changes in the demand for these foods, new possibilities are emerging about the production of ready-to-eat foods. The objective of this study was to evaluate the centesimal and mineral composition, in addition to the microbiological characteristics, of immature blanched grains of two genotypes of cowpea (line MNC00-595F-27 and commercial cultivar Vagem Roxa-THE) preserved under freezing in two types of packages (laminated and polyethylene) in six months of storage. The proximate and mineral composition was analyzed at the Bromatology Laboratory of Embrapa Meio-Norte. The data were statistically analyzed, with analyzes of variance being performed and the averages of the genotypes were compared by Student's t test ($p < 0.05$) and the averages of months of storage by Tukey's test ($p < 0.05$). Microbiological analyzes of *Salmonella* sp., coliforms at 35 °C and 45 °C and counting of mesophilic and psychotropic bacteria were performed at NUEPA/UFPI. The bleached and frozen immature grains of the line MNC00-595F-27 showed higher moisture, lipid, and protein contents in the polyethylene packaging, while for ash and carbohydrates, the contents were higher in the laminated packaging. The laminated packaging better conserved the minerals of the immature bleached and frozen grains in the line MNC00-595F-27, when compared to the commercial standard Vagem Roxa-THE and to the polyethylene packaging. The immature grains of the two genotypes, blanched at a temperature of 90°C for five minutes and cooling in an ice bath for five minutes and stored under freezing for four months in polyethylene packaging and six months in laminated packaging, remain free of micro-organisms. The elite line of cowpea MNC00-595F-27 maintains better quality in storage for six months in laminated packaging, being a potential candidate to cultivar for the immature blanched and frozen grains market.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Green-bean. Bleaching. Freezing. Storage.

INTRODUÇÃO

De origem africana, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é um importante componente na dieta de países em desenvolvimento da África, América Latina e Ásia e uma valiosa fonte de proteína de baixo custo. Foi introduzido no Brasil na segunda metade do século XVI por colonizadores portugueses, no Estado da Bahia. No Norte e Nordeste do Brasil, o grão é um dos alimentos mais consumidos pela população de baixa renda que sofre de deficiências como a desnutrição (CAVALCANTE et al., 2017). Na safra 2021/2022, os estados da Bahia (113.500 t), Ceará (103.500 t), Tocantins 996.700 t), Piauí (83.500 t) e Mato Grosso (975.700 t) foram os maiores produtores nacionais (CONAB, 2022).

O feijão-caupi é usado para vários fins e em diferentes sistemas de produção, e pode ser comercializado como grão seco (mercado principal), grão imaturo (feijão verde), sementes e farinha para uso em pratos locais. O mercado de feijão-caupi gira principalmente em torno da produção de grãos secos ou imaturos. Amplamente apreciado por seu sabor e fácil preparo, o grão imaturo é utilizado em diversos pratos típicos do Nordeste, sendo o chamado baião-de-dois o mais popular, onde o feijão-caupi e o arroz são cozidos juntos (ANDRADE et al., 2011).

A qualidade nutricional e tecnológica é determinada pelo genótipo e influenciada pelos fatores ambientais que ocorrem durante o crescimento da planta e desenvolvimento da semente. Os inúmeros fatores ambientais que influenciam a qualidade do feijão incluem as altas e baixas temperaturas na fase de enchimento de grãos, manejo da cultura, beneficiamento e pós-colheita, condições de estocagem e tecnologia de processamento (DALLA CORTE et al., 2003).

A produção e o consumo de grãos de feijão-verde representam um mercado altamente promissor, tornando-se uma boa opção de renda para os agricultores familiares e empresariais. Por esta razão, é considerado uma importante fonte regional de emprego e renda. A produção de grãos verdes apresenta grande potencial de aumento de consumo, bem como de processamento industrial, principalmente quando produzidos no período de entressafra, época em que o produto atinge preços altos no mercado (MELO et al., 2017).

O feijão-caupi é um produto que tem grande potencial para a expansão do consumo, como também para o processamento industrial nas formas de enlatamento, resfriamento e congelamento (SOUSA et al., 2015). Segundo Oliveira, Santos (2015), a valorização de vegetais frescos, como o feijão-verde, tem demonstrado um crescimento nos últimos anos, favorecendo o aumento gradativo na aquisição destes produtos pelos consumidores e garantindo maior rentabilidade para os agricultores. Como reflexo destas mudanças na procura por esses

alimentos, novas possibilidades vêm surgindo no que diz respeito à produção de alimentos prontos para o preparo ou consumo (NESPOLO et al., 2015).

Segundo Maharaj et al. (1999) os principais fatores limitantes no armazenamento de vegetais frescos são a senescência, deterioração por micro-organismos e transpiração. A alta perecibilidade dos grãos imaturos de feijão-caupi in natura dificulta a sua comercialização (Tavares et al., 2022). Por isso, grande atenção vem sendo dispensada à conservação pós-colheita de vegetais, visto que as perdas atingem índices entre 25 e 60% nos países em desenvolvimento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Dessa forma, têm-se avaliados métodos e técnicas que visem diminuir as perdas pós-colheita de produtos hortícolas comercializados frescos, entre elas o uso de embalagens e ambiente de armazenamento (SÁ et al., 2014; TAVARES et al., 2022).

O branqueamento é um método de conservação procedido pelo aquecimento rápido do alimento a uma dada temperatura durante um período especificado, geralmente de 1 a 10 minutos. Em seguida, o produto branqueado é imediatamente resfriado. Os principais objetivos desse método são a inativação enzimática, o controle microbiológico, maior eficiência na extração de compostos bioativos, facilidade para proceder com o peeling de frutas e legumes, diminuição do ar intracelular dos vegetais, melhoria nas taxas de desidratação, minimização do escurecimento enzimático, entre outras finalidades que afetam de forma benéfica a qualidade dos alimentos (XIAO et al., 2017; TAVARES et al., 2022).

Neste sentido, os grãos imaturos de feijão-caupi foram branqueados e seu efeito sobre a vida de prateleira investigada por Tavares et al. (2022). Os autores verificaram que o branqueamento a 70 °C por quatro minutos manteve e/ou melhorou as características físicas do grão imaturo cru e que a carga microbiológica e a atividade enzimática reduziram e permaneceram estáveis por cinco dias sobre refrigeração quando comparado com os grãos imaturos não branqueados. Concluíram ainda que o branqueamento se mostra como uma alternativa para melhorar o feijão-caupi imaturo, favorecendo o aumento econômico da produção com qualidade garantida e atributos de segurança.

O uso de embalagens tem o objetivo de preservar a qualidade do produto, pois cria barreira física entre produto e ambiente diminuindo a troca entre os dois (SOUSA et al., 2021). As embalagens mais utilizadas para feijão, embalagens tradicionais, podem ser fabricadas em diversos tipos, formatos e materiais. Essas embalagens estão distribuídas no mercado de acordo com a demanda da indústria e do consumidor para conter e manter os atributos sensoriais e nutricionais durante o armazenamento. Porém, elas podem ser ineficientes para manutenção da

qualidade dos grãos imaturos, visto não serem capazes de promover barreira a gases e vapores, o que expõe o produto a atividades enzimáticas mais intensas (SOUSA et al., 2021).

Os grãos imaturos de feijão-caupi congelados são comercializados geralmente em sacos plásticos, mas conservados em baixa temperatura, geralmente em freezers. A grande vantagem dos grãos congelados, quando comparados aos grãos frescos, é a maior capacidade de preservar as características do grão por muito mais tempo, principalmente a cor verde, sem o uso de conservantes, comuns no feijão enlatado (ROCHA et al., 2021).

O objetivo deste estudo foi avaliar a composição centesimal e mineral, além das características microbiológicas dos grãos imaturos branqueados e congelados de feijão-caupi e a conservação em dois tipos de embalagens pelo período de seis meses.

MATERIAL E MÉTODOS

Protocolo experimental

Amostras dos grãos imaturos de dois genótipos de feijão-caupi MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE foram coletadas em um cultivo realizado no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI, situada a uma altitude de 87 metros, Latitude de 5° 5' 21" Sul e Longitude de 42° 48' 6" Oeste. Os grãos foram transportados para o Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte para preparo e análise. Os genótipos foram representados por uma linhagem elite da classe comercial cores, subclasse verde (MNC00-595F-27), selecionada por seus bons atributos agronômicos (SOUSA et al., 2019) e bom perfil nutricional e funcional pós processamento térmico (artigos 1 e 2 deste estudo), e uma cultivar comercial da classe branca, subclasse branco liso (Vagem Roxa-THE), que foi utilizada como padrão comercial para o mercado de feijão-verde. Os grãos foram selecionados manualmente para remover a sujeira e aqueles de qualidade fora do padrão. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Branqueamento, congelamento e embalagens de grãos imaturos

As amostras dos grãos imaturos dos dois genótipos foram branqueadas (proporção feijão:água de 1:2) a uma temperatura de 90 °C por 5 minutos e, posteriormente, passaram por um resfriamento em banho de gelo, por um período de 5 minutos. Para a retirada do excesso de água utilizou-se peneira plástica e acondicionou-se as amostras em embalagem plástica convencional (polietileno) e em saco “stand up pouch” metalizado zip (embalagem laminada), seladas e armazenados sob congelamento até o momento das análises.

Vida de prateleira sob congelamento

Os grãos imaturos após o branqueamento foram embalados em embalagem plástica convencional (polietileno) e em saco “stand up pouch” metalizado zip (embalagem laminada) e congelados a -18 °C (BRASIL, 2004) em freezer vertical Electrolux modelo FE26 super, para avaliação da vida de prateleira tendo como base a vida de prateleira do feijão disponível no mercado, que é de 6 meses para produtos congelados.

As análises da composição centesimal, minerais e microbiológicas foram realizadas mensalmente, por um período de 6 meses. As primeiras análises foram as microbiológicas, seguidas da composição centesimal e análise de minerais.

A cada mês, as amostras foram desidratadas em estufa a 60 °C por 48 horas. Após esse procedimento, os grãos foram triturados em moinho de bolas de zircônia, marca Retsch, modelo MM200, com a finalidade de obtenção de uma farinha a ser utilizada para as análises. A farinha foi acondicionada em saco de polietileno e mantida em temperatura de refrigeração (4 °C) até o momento das análises. Portanto, as análises de vida de prateleira foram realizadas em base seca.

Composição centesimal e valor energético total (VET)

A análise da composição centesimal foi realizada segundo a AOAC (2019). A determinação da umidade foi realizada por meio do método secagem em estufa com temperatura de 105 °C. As cinzas foram determinadas por meio da técnica de incineração em mufla à temperatura de 550 °C. As proteínas foram analisadas pelo método de Kjeldahl, utilizando-se como fator de conversão do nitrogênio para proteína 6,25. Os lipídeos foram analisados pelo método de Soxhlet. Os carboidratos foram determinados por diferença dos demais constituintes da composição centesimal.

O valor energético total (VET) foi calculado conforme Watt e Merrill (1963), usando os fatores de conversão Atwater (carboidratos = 4,0, lipídios = 9,0, proteínas = 4,0).

Minerais

Para a análise de minerais, pesou-se 200 mg da amostra e transferiu-se para um tubo de digestão, sendo adicionados 5 mL da solução digestora (solução nitro-perclórica, 2:1). Os tubos então foram colocados no bloco digestor por aproximadamente duas horas até atingir 200 °C. Após a digestão, os extratos se apresentaram transparentes e límpidos e com um volume aproximado de 2 mL. Após a etapa da digestão, os extratos dos minerais Fe, Zn e Mn foram

avolumados com água destilada até 20 mL, em seguida homogeneizou e fez-se a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o comprimento de onda específico de cada elemento a ser analisado no software do equipamento. Os tores de Fe, Zn e Mn foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$.

Após a etapa da digestão, os extratos dos minerais Ca, P, K e Mg foram avolumados com água destilada até 20 mL. Em seguida, usou-se 200 μL de cada extrato e transferiu-se para um tubo de ensaio, adicionando 3,5 mL de cloreto de estrôncio e 3,3 mL de água destilada, depois homogeneizou-se e prosseguiu-se com leitura no espectro de absorbância atômica, marca GBC, modelo B462, selecionando previamente o elemento a ser analisado no software do equipamento. Os teores de Ca, K, P e Mg foram obtidos em partes por milhão (ppm) e depois transformados para $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$. Foram analisados os teores dos minerais utilizando-se a técnica de espectrometria de absorção atômica (HORWITZ, 2000).

Análises microbiológicas

As análises microbiológicas dos grãos imaturos branqueados e congelados dos dois genótipos corresponderam a presença de *Salmonella* sp., o número mais provável de coliformes a 35 °C e 45 °C, e a contagem padrão em placas de bactérias mesófilas e psicotrópicas que foram baseadas nas metodologias descritas pela American Public Health Association (APHA, 2001), Instrução Normativa n° 161 de 01 de julho de 2022 (BRASIL, 2022) e RDC n° 724 de 01 de julho de 2023 (BRASIL, 2023).

Das amostras, retirou-se e pesou-se assepticamente 10 gramas e adicionou-se a 100 mL de solução salina peptonada a 0,1%, obtendo-se assim uma diluição inicial de 10^{-1} e, a partir dessa diluição, foram preparadas diluições decimais até 10^{-3} .

Pesquisa de *Samonella* sp

Para a pesquisa de *Salmonella* sp., fez-se o pré-enriquecimento, transferindo-se 10 g das amostras para 100 mL de solução salina peptonada tamponada e incubou-se a 35 °C por 20 horas. Para o enriquecimento seletivo, utilizou-se o caldo Rappaport-Vassiliadis e o caldo selenito cistina, transferindo-se 0,1 mL e 1,0 mL, respectivamente, sendo incubados a $41 \pm 0,5$ °C com circulação contínua de água por 24 horas. No isolamento, utilizou-se o ágar Hectoen Enteric (HB) e o ágar Salmonella-Shigella (SS) e os inóculos foram incubados a 37 °C por 24 horas. As colônias características foram transferidas para os meios ágar tríplexes açúcar-ferro e ágar lisina-ferro para caracterização bioquímica preliminar.

Número mais provável de coliformes totais a 35 °C e 45 °C

A determinação de coliformes totais foi realizada pelo método de fermentação em tubos múltiplos; utilizando-se séries de três tubos nos procedimentos presuntivos inoculando 1,0 mL de cada diluição no caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) e o caldo lactose verde brilhante (LBVB) a 2,0 % lactose para os testes confirmativos, com incubação a $36,0 \pm 1$ °C por 24 a 48 horas. A confirmação da presença de coliformes a 45 °C foi realizada por meio da inoculação das colônias suspeitas em caldo EC e posterior incubação em temperatura seletiva de $45 \pm 0,2$ °C, em banho-maria com agitação constante por 24 horas.

Contagem de bactérias mesófilas e psicotrópicas

Para quantificação de mesófilos, realizou-se a contagem padrão em placas utilizando-se técnica de semeadura em meio sólido “Pour Plate” (método por profundidade). Foram feitas diluições decimais seriadas selecionadas (10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3}), adicionados 1 mL dos inóculos em placas de petri esterilizadas e após adicionados 15ml de ágar padrão para contagem (PCA), homogeneizou-se com movimentos em formato de “8”, esperou-se solidificar e foram incubadas em estufa à 36 °C por 48 horas. Após esse período, obteve-se a leitura de 25 a 250 colônias (colônias circulares de coloração creme à amarelo escuro) e contagem em unidades formadoras de colônia (UFC g⁻¹).

Para a quantificação de psicotrópicas foi realizado o mesmo procedimento para quantificação de mesófilos com incubação invertida sob refrigeração (7 °C por 7 dias). Após esse período, obteve-se a leitura de 25 a 250 colônias (também colônias circulares de coloração creme à amarelo escuro) e contagem em UFC g⁻¹.

Análises estatísticas

Com base nos dados, foram realizadas análises de variância e as médias entre genótipos e entre os meses de armazenamento foram comparadas pelo teste de t de Student e Tukey ($p < 0,05$), respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vida de prateleira dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi em diferentes embalagens (laminada e de polietileno) – Análises Microbiológicas.

Os valores das contagens microbiológicas realizadas neste estudo são mostrados nas Tabela 1 e 2. Os valores de UFC g⁻¹ e NMP g⁻¹ para todos os grupos de micro-organismos analisados foram inferiores ao limite máximo permitido pela legislação brasileira. Assim, o resultado microbiológico indicou que os grãos imaturos dos genótipos de feijão-caupi foram processados, manipulados e embalados sob condições higiênico-sanitárias apropriadas.

Tabela 1. Parâmetros microbiológicos de grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi. Teresina/PI, 2022.

Genótipo	<i>Salmonella</i> <i>sp</i>	Coliformes 35°C e 45°C (NMP g ⁻¹)	Bactérias mesófilas e psicrotróficas (UFC g ⁻¹)
MNC00-595F-27	Aus. Em 25 g	4,73 (0,17 a 18 IC)	0
Vagem Roxa THE	Aus. em 25 g	6,32 (1,2 a 18 IC)	0

Legenda: Aus = ausência; NMP g⁻¹ = número mais provável por grama; UFC g⁻¹ = unidade formadora e colônias por grama. IC= Intervalo de Confiança 95%.

As contagens de bactérias mesófilas e psicotróficas nos grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos de feijão-caupi mantiveram-se abaixo dos limites máximos de tolerância para contaminação microbiológica quando acondicionados em embalagem laminada durante o período do estudo (6 meses) (Tabela 2). No entanto, em relação à embalagem de polietileno, a partir do 5º mês de conservação essas contagens ultrapassaram o limite máximo de tolerância para contaminação microbiológica, tornando-as impróprias para o consumo.

Tabela 2. Contagem de bactérias mesófilas e psicotrópicas em grãos imaturos de dois genótipos de feijão-caupi conservados em diferentes embalagens em seis meses de armazenamento. Teresina/PI, 2022.

Embalagem	Mês	Bactérias mesófilas e psicotrópicas (UFC g ⁻¹)
Laminada	1°	0
Polietileno		0
Laminada	2°	0
Polietileno		0
Laminada	3°	0
Polietileno		0
Laminada	4°	0
Polietileno		0
Laminada	5°	0
Polietileno		incontáveis
Laminada	6°	0
Polietileno		incontáveis

Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com os observados por Pereira et al. (2021), que ao avaliarem as características microbiológica dos grãos imaturos de feijão-caupi sob diferentes tratamentos pós-colheita com e sem o branqueamento, observaram que os tratamentos que passaram por branqueamento antes da refrigeração apresentaram uma maior redução da diversidade de micro-organismos nos grãos imaturos de feijão-caupi após armazenagem, no entanto, não foram capazes de eliminar completamente fungos produtores de micotoxinas e bactérias. Os autores ainda concluíram que o período ideal do ponto de vista de consumo dos grãos branqueados e sob refrigeração seria de até 10 dias, tendo condições de no máximo 20 dias. Os resultados obtidos no presente estudo mostram que além do branqueamento e do congelamento, a vida de prateleira dos grãos imaturos de feijão-caupi depende também do tipo de embalagem.

Vida de prateleira dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi em diferentes embalagens (laminada e de polietileno) – Composição Centesimal

Os resultados relacionados a composição centesimal para vida de prateleira dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi conservados em embalagem laminada são apresentados na Tabela 3 e Figura 1.

Tabela 3. Comparativo médio da composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi conservados em embalagem laminada em seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.

Genótipo	Umidade (g 100 g ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	Lipídeos (g 100 g ⁻¹)	Proteínas (g 100 g ⁻¹)	Carboidratos (g 100 g ⁻¹)	VET (Kcal 100g ⁻¹)
MNC00-595F-27	56,34±1,74a	3,24±0,21a	2,16±0,71a	27,31±1,37a	10,91±1,57b	172,76±8,17a
Vagem Roxa-THE	56,13±1,54a	3,11±0,20b	1,46±0,74b	25,46±1,30b	13,67±2,07a	171,45±9,99a

Média de três repetições ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2022.

Observou-se diferenças significativas ($p < 0,05$) entre genótipos para os teores de cinzas, lipídeos, proteínas e carboidratos (Tabela 3), indicando que os teores desses nutrientes nos grãos branqueados e congelados dependem do genótipo. Os teores de cinzas, lipídeos e proteínas foram maiores na linhagem MNC00-595F-27, enquanto a cultivar Vagem Roxa-THE apresentou maiores teores de carboidratos. Os genótipos não apresentaram diferença entre si para os teores de umidade e VET, indicando um comportamento similar para esses dois nutrientes, independente do genótipo. Esse resultado sugere que a linhagem MNC00-595F-27 apresenta melhor perfil para esses nutrientes do que o padrão comercial (Vagem Roxa-THE).

A linhagem MNC00-595F-27 apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os meses de armazenamento em embalagem laminada para os teores de umidade, lipídeos, carboidratos e VET (Figura 1). Em relação ao teor de umidade e lipídeos, ocorreu uma diminuição no decorrer dos meses de armazenamento, indicando que o congelamento influenciou positivamente os teores desses compostos durante o armazenamento. Já em relação aos carboidratos e VET, observou-se um aumento no teor durante os meses de armazenamento. Os teores de cinzas e proteínas apresentaram algumas oscilações, porém, no final do período de armazenamento não se observou diferença entre os meses 1 e 6, indicando que esses compostos se mantiveram relativamente constantes durante todo o período de armazenamento.

Embalagem Laminada

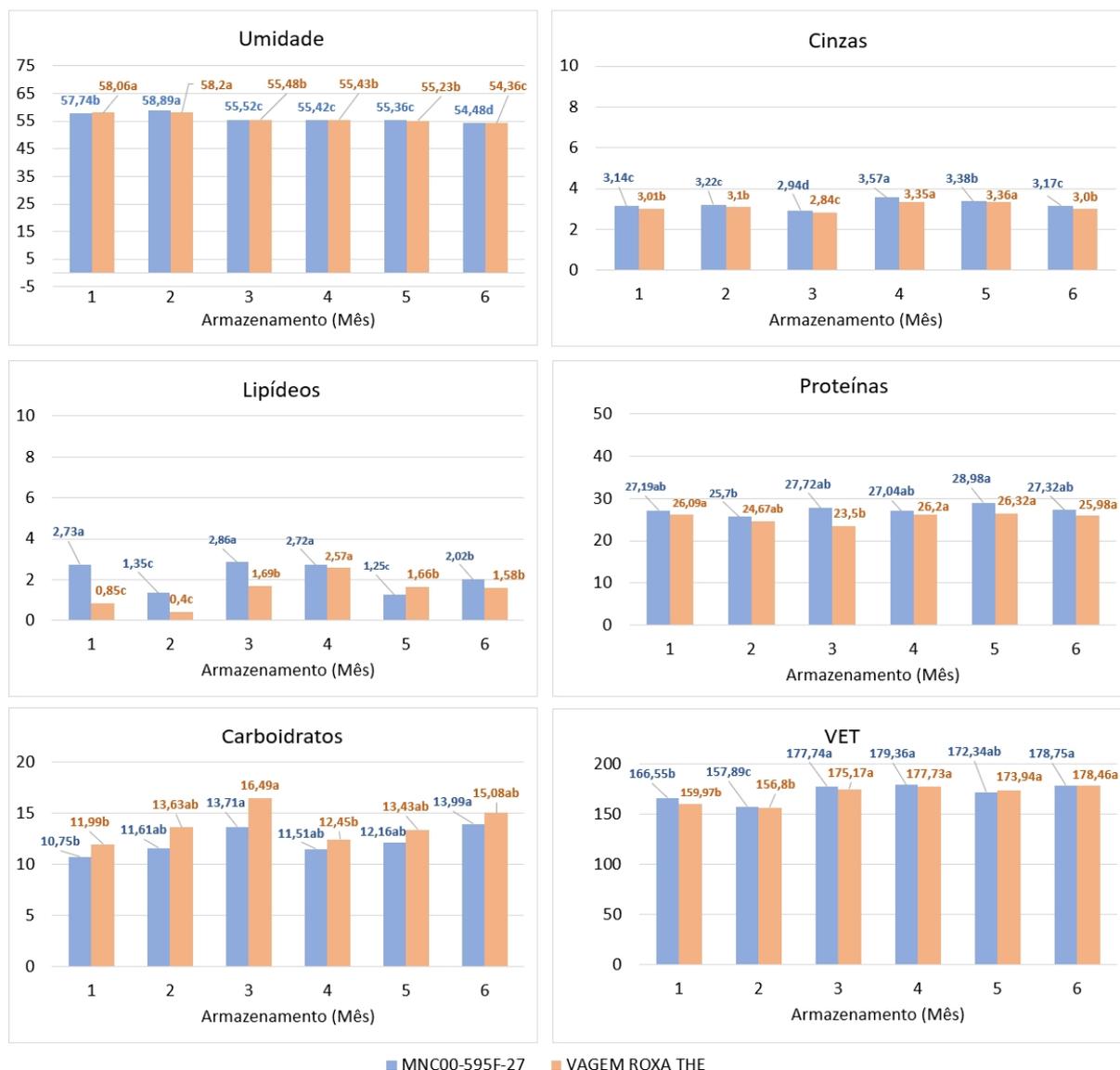


Figura 1. Composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos de feijão-caupi conservados em embalagem laminada em seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022. Médias com letras iguais no mesmo genótipo ao longo dos meses de armazenamento não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Os resultados acima corroboram em parte com os observados por Formigoni (2018), avaliando a vida de prateleira de ervilha branqueada a 100°C por um minuto e congelada em ultrafreezer a -18°C por 15 dias, que também observou diminuição no teor de umidade. Porém, diferiu do presente trabalho quanto aos teores de cinzas, lipídeos e proteínas, que aumentaram com os dias de armazenamento. No entanto, o estudo de Formigoni (2018) foi realizado por menos tempo de armazenamento, condições de branqueamento e matéria prima diferentes do

presente trabalho, bem como não foi informado o tipo de embalagem utilizado para o acondicionamento dos grãos de ervilha branqueados e congelados.

A cultivar Vagem Roxa-THE apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os meses de armazenamento em embalagem laminada para os teores de umidade, lipídeos, carboidratos e VET (Figura 1), sendo o comportamento similar à linhagem MNC00-595F-27 em relação aos teores de umidade, cinzas, proteínas e VET, mas diferente quanto ao teor de lipídeos, que aumentou com os meses de armazenamento. Esse resultado é similar ao observado por Formigoni (2018), onde o teor de lipídeos também aumentou com os dias de armazenamento sob congelamento. Esse comportamento, segundo esse autor, pode ser devido à diminuição do teor de umidade dos grãos.

O comparativo médio da composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 conservados em embalagens laminada e polietileno em quatro meses de armazenamento é mostrado na Tabela 4. A embalagem de polietileno conservou os grãos imaturos dos genótipos de feijão -caupi por um período menor que a embalagem laminada. Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre as embalagens para todos os nutrientes na linhagem MNC00-595F-27 (Tabela 4), indicando que, para a maioria dos compostos, o tipo de embalagem influenciou no comportamento da composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados dessa linhagem.

Tabela 4. Comparativo médio da composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 conservados em embalagem laminada e polietileno em seis e quatro meses de armazenamento, respectivamente (base seca). Teresina/PI, 2022.

Embalagem	Umidade (g 100 g ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	Lipídeos (g 100 g ⁻¹)	Proteínas (g 100 g ⁻¹)	Carboidratos (g 100 g ⁻¹)	VET (Kcal 100g ⁻¹)
Laminada	55,35±1,79b	3,22±0,24a	2,50±0,74b	26,88±1,08b	10,41±2,59a	171,71±9,47b
Polietileno	56,98±0,66a	3,13±0,21b	2,95±0,28a	29,74±1,70a	8,62±2,00b	180,41±4,58a

Média de três repetições + desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2022.

Os teores de umidade, lipídeos, proteínas e VET foram maiores na embalagem de polietileno, enquanto os teores de cinzas e carboidratos, na embalagem laminada. Isso indica que a embalagem de polietileno conservou melhor os teores de lipídeos e proteínas, enquanto a embalagem laminada foi melhor em preservar os teores de cinzas e carboidratos. No entanto, a

embalagem laminada manteve uma umidade menor, favorecendo a qualidade microbiológica do produto.

A composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 conservados em embalagem laminada e de polietileno em seis e quatro meses de armazenamento, respectivamente, são apresentados na Tabela 4 e Figura 2. Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os meses de armazenamento para os teores de umidade, cinzas, lipídeos e VET (Figura 2), indicando um comportamento variável desses nutrientes com os meses de armazenamento sob congelamento nas embalagens avaliadas.

MNC00-595F-27

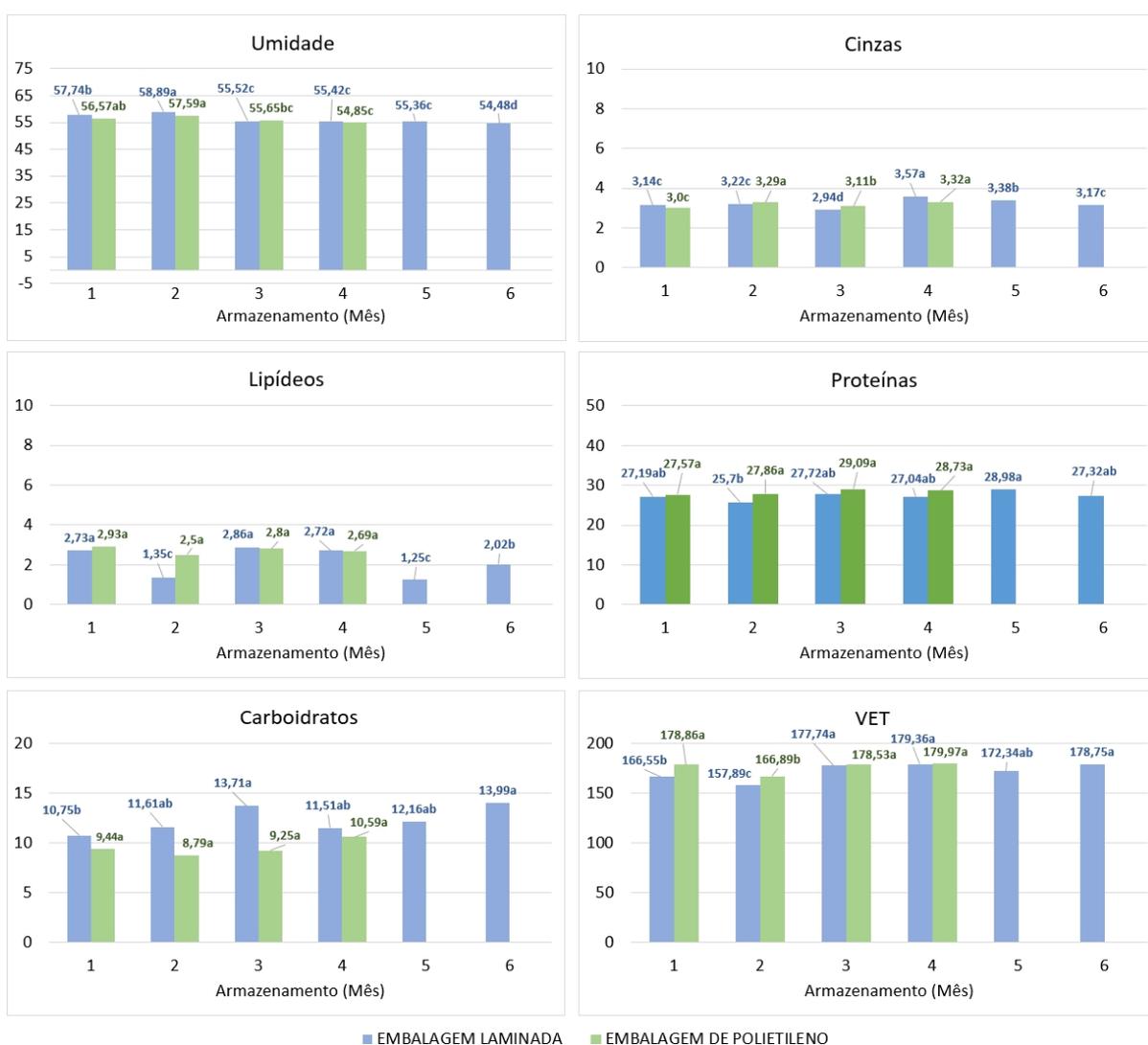


Figura 2. Composição centesimal dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27 conservada em embalagem laminada e de polietileno em seis e quatro meses de armazenamento, respectivamente (base seca). Teresina/PI, 2022. Médias com letras iguais na mesma embalagem ao longo dos meses de armazenamento não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Os teores de umidade, em ambas as embalagens, e de lipídeos na embalagem laminada diminuiram com os meses de armazenamento, enquanto os teores de cinzas, na embalagem de polietileno, e de VET, na embalagem laminada, aumentaram. Os teores de proteínas, em ambas as embalagens, de cinzas na embalagem laminada e de lipídeos na embalagem de polietileno se mantiveram estáveis com os meses de armazenamento. O teor de carboidrato permaneceu estável na de polietileno e aumentou na embalagem laminada.

A influência do branqueamento na composição centesimal dos grãos imaturos de feijão-caupi foi estudada por Tavares, Medeiros, Damasceno (2019). Os autores observaram que embora tenham ocorrido alterações na composição, evidenciou-se a viabilidade na utilização do branqueamento como pré-tratamento para o beneficiamento do feijão-verde, visto que o feijão branqueado apresentou boa quantidade de nutrientes e manteve a coloração característica, o que se observou também no presente trabalho.

Vida de prateleira dos grãos imaturos branqueados e congelados de feijão-caupi conservados em diferentes embalagens (laminada e de polietileno) – Teor de Minerais

Os resultados relacionados aos teores de minerais da vida de prateleira dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi conservados em embalagens laminadas (6 meses) e de polietileno (4 meses) são apresentados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8.

Tabela 5. Teor de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos de feijão-caupi conservados em embalagem laminada em seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.

Mineral (mg 100g ⁻¹)	Mês	Genótipo	
		MNC00-595F-27	Vagem Roxa-THE
Ca	1°	91±0,08ab	91±0,07d
	2°	105±0,04a	132±0,01ab
	3°	82±0,01bc	144±0,11a
	4°	95±0,01ab	110±0,06c
	5°	104±0,10a	116±0,05bc
	6°	67±0,02c	66±0,03e
Mg	1°	160±0,12b	149±0,10c
	2°	175±0,08ab	170±0,05ab
	3°	163±0,03b	155±0,04bc
	4°	172±0,06ab	175±0,03a
	5°	190±0,05a	178±0,09a
	6°	179±0,05ab	179±0,04a
	1°	439±0,02b	392±0,40bc

P	2°	394±0,36ab	336±0,20c
	3°	493±0,32b	463±0,27ab
	4°	544±0,23ab	464±0,06a
	5°	454±0,05a	414±0,24ab
	6°	485±0,06ab	441±0,34ab
	K	1°	1087±1,02b
2°		1283±0,39a	1144±0,22ab
3°		1193±0,71ab	1039±0,09cd
4°		1177±0,15ab	1125±0,16ab
5°		1210±0,22ab	10,73±0,28bc
6°		1189±0,07ab	1170±0,07a
Zn	1°	3,57±1,35bc	3,33±1,29b
	2°	4,18±0,13a	3,69±0,64a
	3°	3,84±1,49b	3,37±0,12b
	4°	4,17±1,04a	3,66±0,04a
	5°	3,84±0,07b	3,34±0,40b
	6°	3,56±0,30c	3,30±0,26b
Fe	1°	4,70±2,14bc	4,15±2,17c
	2°	4,78±1,35bc	4,32±1,69bc
	3°	4,83±0,80ab	4,76±0,31a
	4°	4,41±0,81cd	4,56±0,42ab
	5°	5,21±1,34a	4,59±0,14ab
	6°	4,10±1,61d	3,37±0,61d
Mn	1°	1,18±0,34a	1,10±0,22b
	2°	1,26±0,22a	1,32±0,41a
	3°	0,85±0,19b	0,66±0,27d
	4°	0,88±0,63b	0,91±0,39c
	5°	0,75±1,26b	0,88±0,84c
	6°	1,21±0,27a	1,23±0,03a

Média de três repetições ±desvio-padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2022. Legenda: Ca= cálcio, Mg=Magnésio, P=fósforo, K=Potássio, Fe=Ferro, Zn= Zinco e Mn=Mangânês).

Em relação à embalagem laminada (Tabela 5), os genótipos de feijão-caupi apresentaram diferenças significativas ($p<0,05$) para todos os minerais estudados, exceto para o teor de Zn, que permaneceu constante durante os seis meses de armazenamento na cultivar Vagem Roxa-THE, e o Mn, que apresentou comportamento similar durante os meses de armazenamento na linhagem MNC00-595F-27.

Os teores dos minerais Ca e Fe diminuíram durante o armazenamento nos dois genótipos de feijão-caupi estudados (Tabela 5). O teor de Zn diminuiu apenas na linhagem MNC00-595F-27. Os teores de P, Mg e K aumentaram durante os meses de armazenamento nos dois genótipos e o Mn apresentou aumento de teor apenas na cultivar Vagem Roxa-THE.

Comparando a média de cada mineral analisado para os dois genótipos acondicionados em embalagem laminada (Tabela 6), observou-se diferença significativa ($p<0,05$) para os

minerais Ca, Mg, P, K, Zn e Fe, indicando que o congelamento influenciou o comportamento desses minerais com os meses de armazenamento.

A linhagem MNC00-595F-27 apresentou maiores teores desses minerais quando os seus grãos foram conservados em embalagem laminada, relativamente a cultivar Vagem Roxa-THE, exceto para o Ca, onde o padrão comercial foi superior à linhagem. Os genótipos apresentaram comportamentos similares para o teor de Mn, não apresentou diferença estatística entre si. Esses resultados indicam que os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-5945F-27 são uma excelente fonte de minerais quando acondicionados em embalagem laminada.

Tabela 6. Teor médio de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados de dois genótipos feijão-caupi conservados em embalagem laminada em seis meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.

Mineral	Genótipo	
	MNC00-595F-27 (mg 100g ⁻¹)	Vagem Roxa-THE (mg 100g ⁻¹)
Ca	91±0,14b	110±0,27a
Mg	173±0,12a	168±0,13b
P	468±0,52a	418±0,51b
K	1190±0,75a	1088±0,72b
Zn	3,86±2,73a	3,45±1,75b
Fe	4,67±3,75a	4,29±4,82b
Mn	1,02±2,12a	1,02±2,34a

Média de três repetições ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student (p <0,05). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2022. Legenda: Ca= cálcio, Mg=Magnésio, P=fósforo, K=Potássio, Fe=Ferro, Zn= Zinco e Mn=Manganês).

Os resultados dos teores médios de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27 acondicionados em embalagem de polietileno em quatro meses de armazenamento são mostrados na Tabela 7. Os teores de Mg, P, Zn e Mn não apresentaram diferença entre os meses de acondicionamento, evidenciando que foram estáveis com o congelamento durante o armazenamento. Já os minerais Ca, Fe e K apresentaram diferença significativa (p<0,05) nos seus teores entre os meses de armazenamento, mostrando que foram influenciados pelo congelamento durante os meses de armazenamento em

embalagem de polietileno. Os teores de Ca e Fe diminuíram, enquanto o teor de K aumentou, com os meses de armazenamento em embalagem de polietileno.

Segundo Formigoni (2018), avaliando a vida de prateleira de grãos de ervilha branqueados e congelados, mencionou que o aumento nos teores de cinzas, nos quais contêm muitos dos minerais, tal como o caso do K no presente estudo, pode ser explicado pela perda de umidade durante o congelamento.

Tabela 7. Teor de minerais dos grãos imaturos da linhagem de feijão-caupi MNC595F-27 conservados em embalagem de polietileno em quatro meses de armazenamento (base seca). Teresina/PI, 2022.

Mineral	Mês	Linhagem MNC00-595F-27 (mg 100g ⁻¹)
Ca	1°	97±0,09ab
	2°	101±0,05a
	3°	98±0,20ab
	4°	88±0,09b
Mg	1°	163±0,09a
	2°	192±0,06a
	3°	168±0,05a
	4°	171±0,04a
P	1°	446±0,09a
	2°	441±0,56a
	3°	439±0,65a
	4°	493±0,61a
K	1°	1073±0,68b
	2°	1185±1,11a
	3°	1181±0,48a
	4°	1149±0,32ab
Zn	1°	3,62±1,13a
	2°	3,75±4,91a
	3°	3,63±2,73a
	4°	3,75±4,71a
Fe	1°	4,70±1,36a
	2°	4,77±1,17a
	3°	4,73±1,32a
	4°	4,38±0,64b
Mn	1°	1,03±1,66a
	2°	1,06±2,18a
	3°	0,76±1,06b
	4°	1,04±1,84a

Médias de três repetições ± desvio-padrão. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2022. Legenda: Ca= cálcio, Mg=Magnésio, P=fósforo, K=Potássio, Fe=Ferro, Zn= Zinco e Mn=Manganês).

Comparando as embalagens laminada e de polietileno em relação a conservação de minerais nos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem MNC00-595F-27, observou-se que a embalagem laminada conservou melhor os teores de K, Zn e Mn, enquanto a embalagem de polietileno conservou melhor o teor de Ca. Os minerais Mg, P e Fe apresentaram comportamento similar em ambas as embalagens, não havendo diferença entre elas (Tabela 8).

Tabela 8. Comparativo do teor médio de minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 entre diferentes embalagens (laminada e polietileno) (base seca). Teresina/PI, 2022.

Mineral (mg 100g ⁻¹)	Embalagem	Genótipo
		MNC00-595F-27
Ca	Laminada	91±0,10b
	Polietileno	105±0,10a
Mg	Laminada	168±0,08a
	Polietileno	169±0,03a
P	Laminada	462±0,58a
	Polietileno	443±0,47a
K	Laminada	1172±0,85a
	Polietileno	1104±0,52b
Zn	Laminada	3,82±3,62a
	Polietileno	3,47±2,07b
Fe	Laminada	4,62±2,28a
	Polietileno	4,70±0,97a
Mn	Laminada	1,07±1,82a
	Polietileno	0,80±1,14b

Média de três repetições ± desvio-padrão). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Fonte: Dados da Pesquisa. Teresina/PI, 2022. Legenda: Ca= cálcio, Mg=Magnésio, P=fósforo, K=Potássio, Fe=Ferro, Zn= Zinco e Mn=Manganês).

Os resultados evidenciam que pelo número de minerais que foram conservados após os quatro meses de armazenamento sob congelamento, a embalagem de polietileno foi menos eficiente na preservação dos minerais sob essas condições. Isso pode ser devido a baixa proteção do alimento às ações do ambiente, como a luz e a umidade, relativamente à embalagem laminada. Brackman e Chitarra (1998) afirmam que, os alimentos frescos, embalados em filmes plásticos, podem criar meio de elevada umidade.

Sá et al. (2014), ao realizarem um experimento em três condições de armazenamento: ambiente natural, sem controle de temperatura; geladeira (8°C) e freezer (-10 °C), observaram que no freezer os grãos verdes de feijão não apresentaram mudança na cor, germinação e

presença de fungos por 28 dias, independentemente do tipo de embalagem. A bandeja de isopor envolvida por PVC foi a embalagem que conservou melhor os grãos por até 14 dias em meio ambiente e 28 dias em geladeira.

Lima et al. (2000) ao estudarem a conservação de quatro variedades de feijão-caupi imaturo submetidos a temperaturas de refrigeração e congelamento, observaram que o armazenamento sob congelamento dos grãos verdes pré-cozidos e cozidos apresentou resultados satisfatórios até um período de 50 dias; que sacos plásticos herméticos, acondicionando grãos imaturos, contribuíram para uma má qualidade do produto e que o armazenamento recomendado é a temperatura de congelamento com grãos cozidos.

Por se tratar de uma leguminosa, os grãos imaturos de feijão-caupi apresentam características morfológicas sensíveis pelo grau de maturação, com tegumento frágil, sendo necessário um tratamento térmico eficiente para diminuição e/ou estabilização enzimática, pois a utilização de altas temperaturas pode comprometer consideravelmente outros aspectos sensoriais. Diante disso, as condições de temperatura e tempo utilizados para o branqueamento devem ser avaliadas pela especificidade de cada matéria-prima.

CONCLUSÕES

A linhagem MNC00-595F-27 apresenta maiores teores de umidade, lipídeos e proteínas quando os grãos imaturos branqueados são acondicionados sob congelamento em embalagem de polietileno, enquanto na embalagem laminada, maiores teores de cinzas e carboidratos.

A embalagem laminada conserva melhor os minerais dos grãos imaturos branqueados e congelados na linhagem MNC00-595F-27, quando comparada com o padrão comercial Vagem Roxa-THE e a embalagem de polietileno.

Os grãos imaturos da linhagem elite MNC00-595F-27 e da cultivar comercial Vagem Roxa-THE branqueados a uma temperatura de 90°C e resfriamento em banho de gelo, ambos por cinco minutos, e armazenados sob congelamento por quatro meses em embalagem plástica e seis meses em embalagem laminada, mantêm-se livres de micro-organismos, se manipulados e embalados sob condições higiênico-sanitárias apropriadas.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, R. C. **Escurecimento de grãos em feijão: parâmetros genéticos e fenotípicos, associação com tempo de cocção, seleção assistida por marcadores e obtenção de linhagens elite**. 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4th ed, Washington: APHA, 2001. 676 p.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RODRIGUES, E. V.; SILVA, L. R. A. Potencial nutricional e culinário de linhagens de tegumento e cotilédone verdes para o mercado de feijão-caupi verde. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO, 4., Teresina, 2011. **Anais...** Teresina/Rio de Janeiro: Embrapa Meio-Norte/Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 21. ed. Rockville: AOAC International, 2019. Disponível em: < <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019>>. Acesso em: 27 de fev. 2023.

BRACKMANN, A. E.; CHITARRA, A. B. Atmosfera controlada e atmosfera modificada. In: BOREM, F. M.; CHITARRA, A. B. **Armazenamento e processamento de produtos agrícolas**. Poços de Caldas- MG: UFLA/SBEA, cap.4, p.134-169, 1998.

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos. 187).

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 161 de 01 de julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Diário Oficial da União, de 06 de julho de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução Normativa nº 216 de 15 de setembro de 2004**. Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Disponível em: <
https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20Regulamento%20T%C3%A9cnico%20de%20Boas%20Pr%C3%A1ticas%20para%20Servi%C3%A7os%20de%20Alimenta%C3%A7%C3%A3o.&text=tudo%20territ%C3%B3rio%20nacional%3B,Pr%C3%A1ticas%20para%20Servi%C3%A7os%20de%20Alimenta%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 28 de fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 724 de 01 de julho de 2023**. Dispõe sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação. Diário Oficial da União, de 06 de julho de 2023.

BRITO, E. S. **Feijão-caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 1ª edição, 2008.

CAVALCANTE, R. B. M.; ARAÚJO, M.A. M.; ROCHA, M. M.; MOREIRA-ARAÚJO R. S. R. Effect of thermal processing on chemical compositions, bioactive compounds, and antioxidant activities of cowpea cultivars. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1050-1058, 2017.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA. 2005. 785 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2021/2022, 12º levantamento, setembro de 2022**. Brasília, DF: CONAB, v. 9, n. 12. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>>. Acesso em: 03 Fev. 2023.

DALLA CORTE, A. et al. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 193-202, 2003.

FERNANDES, A. C.; CALVO, M. C. M.; PROENÇA, R. P. C. Técnicas de pré-preparo de feijões em unidades produtoras de refeições das regiões Sul e Sudeste do Brasil. **Revista de Nutrição**, v. 25, n. 2, p. 259-269, 2012.

FORMIGONI, M. L. M. V. **Estudo comparativo entre os processos de irradiação e congelamento nos aspectos químicos, físicos, sensoriais e microbiológicos de grãos de ervilhas armazenados**. 2018. 110 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

HORWITZ, W.; LATIMER JR., G. (Eds.) **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2005. Cap. 50, methods 985.35 e 984.27, p.15-18. Current Through Revision 1, 2006.

LIMA, E. D. P. A. et al. 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**, v. 7, n. 1, p. 129-134, 2003.

LIMA, N. L.; EMANUELLE, C.; SILVA, C. L.; DINIZ, M. C.; OLIVEIRA, M. R. T.; GADELHA, T. S. Estudo sobre a conservação de quatro variedades de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* L. Walp.) submetidos a temperaturas de refrigeração e congelamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 2, p. 57-69, 2000.

MAHARAJ, R.; ARUL, J.; NADEAU, P. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. **Postharvest Biology and Technology**, v.15, n.1, p. 13-23, 1999.

MELO, N. Q. C.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; ARAÚJO, M. A.; ROCHA, M. M. Chemical characterization of green grain before and after thermal processing in biofortified cowpea cultivars. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 811-816, 2017.

NESPOLO, C. R.; OLIVEIRA, F. A.; PINTO, F. S. T.; OLIVEIRA, F. C. **Práticas em tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2015. 220 p.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C (Org.). **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. Natal: Editora IFRN, 2015. 234 p.

PEREIRA, C. S.; SILVA, V. V. S.; JARDEL ALVES DA COSTA; ROCHA, R. S.; PESSOA, W. R. L. S.; MARTINS, J. V. S. Avaliação microbiológica de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*

L.) imaturo sob diferentes tratamentos pós-colheita. **Ensaio e Ciência**, v. 25, n. 1, p. 50-54, 2021.

ROCHA, M. M. Tecnologia pós-colheita. In: **Feijão-caupi**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2021. (Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Árvores do conhecimento). Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pos-producao/tecnologia-pos-colheita>>. Acesso em: 27 de fev. 2023.

SÁ, L. G.; SANTOS, M. R.; BORTOLUZZI, R.; NETO, S. W. R. Armazenamento de feijão verde em diferentes embalagens e ambientes. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 3348-3355, 2014.

SOUSA, G. A.; HERNANDES, E. E.; DAMASCENO, S. S.; MATTAR, E. P. L.; SIVIERO, A. Qualidade de feijão-caupi crioulo do Alto Juruá armazenado em embalagem a vácuo. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 2, n. Edição especial, 2021.

SOUSA, J. L. M.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NEVES, A. C.; SOUSA, R. R. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 392-398, 2015.

TAVARES, R. M. O.; MEDEIROS, P. V. D.; DAMASCENO, K. S. F. S. C. Aplicação do branqueamento: influência na cor e composição centesimal do feijão-verde (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS, 13., Campinas, 2019. **Anais...**Campinas, SBCTA, 2019.

TAVARES, E. M. O.; ASSIS, C. F.; LIMA, P. O.; LIMA, P. D. S.; LIMA, R. R. C.; DAMASCENO, K. S. F. S. C. Blanching Effect on the Quality and Shelf-Life Characteristics of Fresh Cowpea Grains [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Foods**, v. 11, 1295, 2022.

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**, v. 28, n. 2, p. 355-360, 2008.

WATT, B.; MERRILL, A. L. **Composition of foods: raw, processed, prepared.** Washington: Agricultural Research Service, 1963. 198 p.

XIAO, H. W.; PAN, Z.; DENG, L. Z.; EL-MASHAD, H. M.; YANG, X. H.; MUJUMDAR, A. S.; GAO, Z. J.; ZHANG, Q. Recent developments and trends in thermal blanching: a comprehensive review. **Information Processing in Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 27-101, 2017.

CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa objetivou avaliar os grãos imaturos de genótipos de feijão-caupi selecionados pelo seu potencial agrônomo, para características tecnológicas, nutricionais e funcionais, antes e após o processamento térmico, e a vida de prateleira sob branqueamento e congelamento com vistas a oferecer ao um produto com a aparência de fresco e preservando os seus níveis nutricionais e funcionais.

Os grãos de feijão comprados em conserva ou salmoura são desbotados, algumas sem gosto ou muito cozidos e os grãos imaturos ou frescos nem sempre estão disponíveis na geladeira, além de estragarem mais facilmente sofrem perda de cor. Neste sentido, os grãos imaturos de linhagens de feijão-caupi da classe cores, subclasse comercial verde, por apresentarem tegumento e cotilédones verdes representam uma ótima opção por terem mais sabor e cor no prato.

Para se atingir uma compreensão do potencial tecnológico, nutricional e funcional de grãos imaturos crus e cozidos de genótipos de feijão-caupi e a sua vida de prateleira sob branqueamento e congelamento como uma opção de mercado e consumo para o feijão-verde, definiu-se cinco objetivos específicos. O primeiro foi determinar a composição centesimal e mineral de grãos imaturos crus e cozidos e o tempo de cozimento de quatro genótipos de feijão-caupi (MNC00-595F-27 e MNC05-847B-123, BRS Tumucumaque e Vagem Roxa-THE). Verificou-se que após o processamento térmico, as linhagens MNC00-595F-27 e MNC05-847B-123 apresentaram aumento nos teores de umidade e reduções nos teores de cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos e VET.

O segundo objetivo foi avaliar os grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos de feijão-caupi MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE para a composição centesimal e minerais. A linhagem MNC00-595F-27 apresentou um conteúdo relevante de minerais e de proteínas quando comparada a cultivar comercial Vagem Roxa THE.

O terceiro objetivo foi avaliar os grãos imaturos branqueados e congelados dos genótipos de feijão-caupi MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE para compostos bioativos (fenólicos totais, carotenóides totais, flavonoides, antocianinas e vitamina C) e a atividade antioxidante pelos métodos DPPH e ABTS, bem como verificar o efeito do tipo de solvente (água, etanol e acetona) na extração dos fenólicos totais e atividade antioxidante. A linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 apresentou perfil dos compostos bioativos flavonoides, antocianinas, vitamina C e carotenóides) e fenólicos totais/atividade antioxidante pelo método

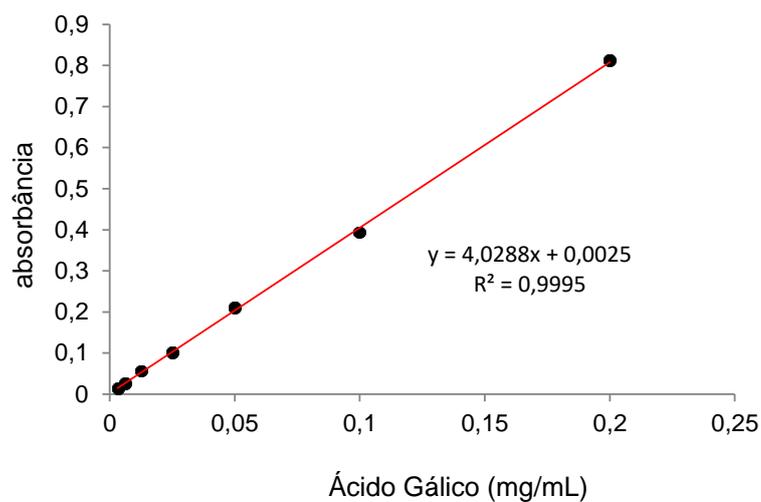
ABTS, com extração aquosa, superior à cultivar comercial Vagem Roxa-THE; porém, apresentou fenólicos totais e atividade antioxidante inferior ao padrão comercial pelo método DPPH (EC₅₀), com extração aquosa ou etanólica, e pelo método ABTS, com extração etanólica ou cetônica, demonstrando serem boas fontes de compostos bioativos e um alimento com função antioxidante para promoção da saúde do consumidor de feijão-verde.

O quarto objetivo foi avaliar os grãos imaturos branqueados dos genótipos de feijão-caupi MNC00-595F-27 e Vagem Roxa-THE conservados sob congelamento em diferentes tipos de embalagens (laminada e polietileno) durante seis meses de armazenamento. A linhagem MNC00-595F-27 apresenta maiores teores de umidade, lipídeos e proteínas na embalagem de polietileno, enquanto a embalagem laminada apresentou maiores teores de cinzas e carboidratos. A embalagem laminada conservou melhor os minerais na linhagem MNC00-595F-27, quando comparada a cultivar Vagem Roxa THE, bem como quando comparada a embalagem de polietileno. As análises microbiológicas indicaram que os grãos imaturos dos genótipos de feijão-caupi foram processados, manipulados e embalados sob condições higiênico-sanitárias apropriadas. De um modo geral, a embalagem laminada foi superior a embalagem de polietileno no ponto de vista de conservação, pois conseguiu manter os parâmetros microbiológicos por um período de 6 meses, enquanto a embalagem de polietileno por apenas 4 meses.

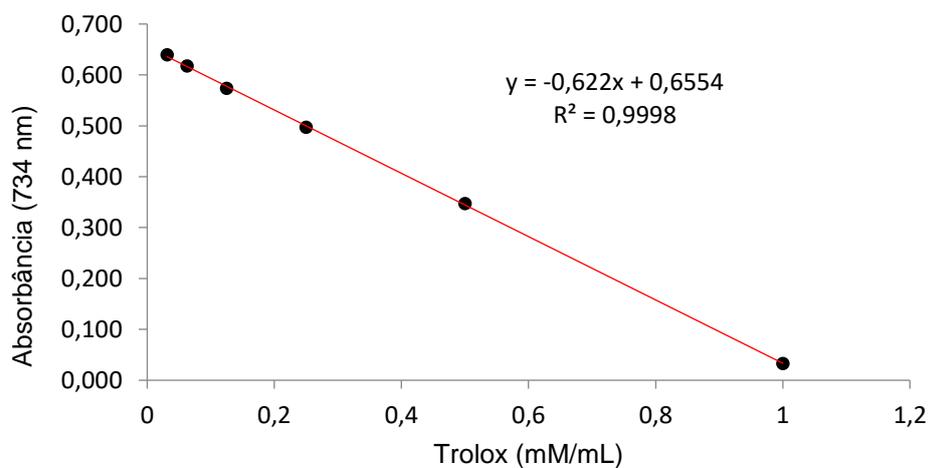
Sendo assim, os grãos imaturos branqueados e congelados da linhagem de feijão-caupi MNC00-595F-27 de tegumento e cotilédones verdes, atualmente em processo de lançamento comercial (BRS Verdejante), tornam-se uma ótima opção para aumentar a vida de prateleira do feijão-verde e ofertar um alimento ao consumidor rico em proteínas, minerais e fibras alimentares, compostos bioativos e antioxidantes para melhoria da saúde.

Em pesquisas futuras, pode-se analisar outras cultivares de feijão-caupi, formular produtos derivados da linhagem MNC00-595F-27 utilizando novas metodologias e outros processamentos para que o feijão-verde conquiste mais espaço na mesa do brasileiro, contribuindo para melhora a saúde do consumidor e o aumento da produção e consumo do feijão-caupi no Brasil.

ANEXOS



Anexo 1. Curva de calibração do padrão de referência ácido gálico.



Anexo 2. Curva de calibração-resposta de inibição do radical $ABTS^{+\cdot}$ frente ao padrão Trolox®.