



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

LINDA BRENNA RIBEIRO ARAÚJO

RECOMENDAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI QUANTO À
PRODUTIVIDADE E ESCURECIMENTO DOS GRÃOS PARA REGIÃO
SEMIÁRIDA

FORTALEZA

2022

LINDA BRENNA RIBEIRO ARAÚJO

RECOMENDAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI QUANTO À
PRODUTIVIDADE E ESCURECIMENTO DOS GRÃOS PARA REGIÃO SEMIÁRIDA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cândida Hermínia Campos de Magalhães Bertini.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A69r Araújo, Linda Brenna Ribeiro.
Recomendação de linhagens de feijão-caupi quanto à produtividade e escurecimento dos grãos para região semiárida / Linda Brenna Ribeiro Araújo. – 2022.
61 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Cândida Herminia Campos de Magalhães Bertini.

1. Vigna unguiculata. 2. GGE Biplot. 3. Interação GxE. 4. Escurecimento de grãos. I. Título.

CDD 630

LINDA BRENNA RIBEIRO ARAÚJO

RECOMENDAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI QUANTO À
PRODUTIVIDADE E ESCURECIMENTO DOS GRÃOS PARA REGIÃO SEMIÁRIDA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas.

Aprovada em: 12/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Cândida Hermínia Campos de Magalhães Bertini (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Maria Raquel Alcântara de Miranda
Universidade Estadual do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Júlio César do Vale Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Dheyne Silva Melo
Embrapa Agroindústria Tropical

A Deus.

Aos meus pais, Almir e Salete.

Ao meu irmão, Filipe.

Aos meus tios, Dário e Neide (*in memoriam*),

Nely e Maria.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela saúde da minha família e proteção em tempos difíceis, pelos livramentos e conquistas.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o doutorado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa que possibilitou a mim e a tantos outros realizarem a escolha pelos estudos.

Aos meus pais, Almir e Salete, e ao meu irmão Filipe, pelo grande exemplo e apoio incondicional. A eles agradeço também pelo suporte na condução tanto dos meus experimentos, quanto os de meus colegas, em Madalena-CE.

À professora Cândida Bertini, por todos os ensinamentos, dedicação, confiança e compreensão demonstrados em todos os anos de orientação, da graduação ao doutorado.

À Embrapa Meio-Norte, pelo fornecimento de sementes e auxílio para a realização dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de feijão-caupi.

À professora Raquel Miranda, pela grande colaboração com a pesquisa e disponibilização da estrutura do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia de Frutos, bem como aos seus alunos João, Luciana e Débora, pelos ensinamentos e parceria nos experimentos.

Ao professor Júlio César do Vale e ao pesquisador Dheyne Melo, pela disponibilidade e importantes contribuições.

Às equipes dos Laboratórios de Frutos Tropicais e do Laboratório de Carnes pela parceria e auxílio nas análises.

Às empresas Beckmans Sementes e My Coco, pelo auxílio na condução dos experimentos em Crateús e Bela Cruz. Ao Instituto Federal do Ceará (IFCE), na pessoa da professora Raquel Mano, à Universidade Federal do Cariri (UFCA) e à equipe da Fazenda Experimental Vale do Curu (UFC), pelo auxílio nos ensaios de Limoeiro do Norte, Crato e Pentecoste.

À equipe do Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento de Plantas, pelo companheirismo e auxílio nos experimentos, em especial ao Linco, Antônio Neto, Marcelo, Lesly, Emanuel, Marcos e Ana Virgília.

Aos colegas que se tornaram amigos e que fizeram a experiência de cursar a Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia na UFC muito mais feliz: Charles, Arnaldo, Vieira, Selma, Wendson (*in memoriam*), Raylson, Leane, Tamiris e Sr. Luiz.

Aos companheiros de trabalho da EEEP Monsenhor Waldir Lopes de Castro, em especial ao Paulo Eduardo, meu coordenador, pela compreensão e apoio à minha formação.

“Sejam bons administradores dos diferentes dons que receberam de Deus. Que cada um use o seu próprio dom para o bem dos outros.”
(1Pedro 4:10)

RESUMO

A área cultivada com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) e sua produção têm crescido no Brasil. No entanto, a realidade da cultura ainda é de baixos rendimentos, em especial no Nordeste brasileiro, sua principal região produtora. Além disso, problemas pós-colheita também são observados na cultura, como o escurecimento dos grãos. Assim, os objetivos desse trabalho são avaliar a interação genótipo X ambiente e o escurecimento de grãos sob armazenamento e recomendar, para o semiárido do Ceará, genótipos de feijão-caupi produtivos, estáveis, adaptados a diferentes sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado) e com escurecimento de grãos reduzido. No Capítulo I, catorze genótipos de feijão-caupi foram avaliados em ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) em seis regiões distintas do estado do Ceará (Crato, Pentecoste, Crateús, Madalena, Bela Cruz e Limoeiro do Norte). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram realizadas análises de variância individuais e conjuntas e as médias foram comparadas segundo Scott-Knott. A fim de realizar uma recomendação eficiente, utilizou-se a metodologia GGE biplot para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos. A luminosidade (L^*) dos genótipos de melhor desempenho também foi avaliada. O genótipo 9 (Pingo-de-ouro 1-5-8) foi recomendado para o estado do Ceará por sua estabilidade no rendimento de grãos. Os genótipos 1, 4, 8 e 10 foram os mais adaptados aos ambientes irrigados e os genótipos 1, 2, 7 e 9 aos locais de cultivo em sequeiro. O genótipo 1 (Bico-de-ouro 1-5-11) apresentou o menor escurecimento sob armazenamento. No Capítulo II, o escurecimento dos grãos foi avaliado sob diferentes tempos de armazenamento, em esquema fatorial simples (15 genótipos x 5 períodos – 0, 2, 4, 6 e 8 meses), e foram analisadas as variáveis luminosidade (L^*), pelo método da reflexão especular exclusiva, polifenóis extraíveis totais (POL) e atividade enzimática de peroxidase (PER) e polifenoloxidase (PPO), obtidas com leitura dos respectivos extratos em espectrofotômetro de microplaca. O genótipo que menos escureceu foi o 15 (Setentão), que pode ser recomendado para mercados mais exigentes quanto à perda de luminosidade ao longo do tempo. Os genótipos mulatos apresentaram maior tendência ao escurecimento, enquanto os de tegumento branco não escureceram ao longo do tempo avaliado.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; GGE biplot; interação GxE; escurecimento de grãos.

ABSTRACT

The area cultivated with cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) and its production have grown in Brazil. However, the reality of the culture is still low yields, especially in the Brazilian Northeast, its main producing region. In addition, post-harvest problems are also observed in the crop, such as grain browning. Thus, the objectives of this work are to evaluate the genotype X environment interaction and grain browning under storage and to recommend, for the semi-arid region of Ceará, productive, stable cowpea genotypes adapted to different cropping systems (rainfed and irrigated) and with reduced grain browning. In Chapter I, fourteen cowpea genotypes were evaluated in Value of Cultivation and Use (VCU) trials in six different cities in the state of Ceará (Crato, Pentecoste, Crateús, Madalena, Bela Cruz and Limoeiro do Norte). The experimental design used was randomized blocks, with four replications. Individual and joint analyzes of variance were performed and the means were grouped according to Scott-Knott. In order to make an efficient recommendation, the GGE biplot methodology was used to evaluate the adaptability and stability of the genotypes. The luminosity (L^*) of the best performing genotypes was also evaluated. Genotype 9 (Pingo-de-ouro 1-5-8) was recommended for the state of Ceará for its stability in grain yield. Genotypes 1, 4, 8 and 10 were the most adapted to irrigated environments and genotypes 1, 2, 7 and 9 to rainfed areas. Genotype 1 (Bico-de-ouro 1-5-11) showed the lowest browning under storage. In Chapter II, the browning of the grains was also evaluated under different storage times, in a simple factorial scheme (15 genotypes x 5 periods – 0, 2, 4, 6 and 8 months), and the lightness variables (L^*) were analyzed by the method of exclusive specular reflection, total extractable polyphenols (POL) and peroxidase (PER) and polyphenoloxidase (PPO) enzymatic activity, obtained by reading the respective extracts in a microplate spectrophotometer. The genotype that darkened the least was 15 (Setentão), which can be recommended for more demanding markets in terms of loss of luminosity over time. The mulatto genotypes showed a greater tendency to darken, while the white tegument did not darken over the evaluated time.

Keywords: *Vigna unguiculata*; GGE biplot; GxE interaction; grain browning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação dos locais de condução dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) no semiárido do estado do Ceará.....	29
Figura 2 – <i>Heatmap</i> , agrupamento de médias de rendimento de feijão-caupi (kg ha^{-1}) e classificação de Annicchiarico (1992) para ambientes.....	33
Figura 3 – GGE Biplot para ensaios em ambientes irrigados e sequeiro.....	35
Figura 4 – Boxplot de luminosidade (L^*) sob armazenamento de grãos de genótipos selecionados de feijão-caupi.....	37
Figura 5 – Análise de componentes principais em grãos secos de feijão-caupi sob 8 meses de armazenamento para as variáveis: polifenóis extraíveis totais (POL) e atividades da peroxidase (PER) e polifenoloxidase (PPO).....	46
Figura 6 – Análise de componentes principais em grãos secos de feijão-caupi sob 8 meses de armazenamento para as variáveis: polifenóis extraíveis totais (POL) e atividades da peroxidase (PER) e polifenoloxidase (PPO).....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação, procedência e subclasse comercial dos genótipos utilizados.....	28
Tabela 2 – Ambientes onde foram conduzidos os ensaios e seus respectivos códigos, data de semeadura, altitude, coordenadas geográficas e precipitação pluviométrica acumulada durante a condução dos ensaios.....	29
Tabela 3 – Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 14 genótipos de feijão-caupi avaliados em seis locais no estado do Ceará.....	32
Tabela 4 – Identificação, procedência e subclasse comercial dos genótipos utilizados nos ensaios de armazenamento.....	44
Tabela 5 – Polifenoloxidase, peroxidase, polifenóis extraíveis totais e luminosidade em genótipos de feijão-caupi durante armazenamento.....	47
Tabela 6 – Resumo da análise de solo dos locais de condução dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU).....	62
Tabela 7 – Médias, desvio e variação de luminosidade de grãos de genótipos selecionados de feijão-caupi sob armazenamento.....	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3 ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E ESCURECIMENTO DE GRÃOS NA RECOMENDAÇÃO DE LINHAGENS DE EIJÃO-CAUPI PARA O SEMIÁRIDO CEARENSE.....	25
4 ESCURECIMENTO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ARMAZENAMENTO.....	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE A – ANÁLISE DE SOLO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	62
APÊNDICE B – VARIAÇÃO DA LUMINOSIDADE DE GRÃOS DE FEIJÃO- CAUPI SOB ARMAZENAMENTO.....	63

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-caupi está entre as leguminosas mais cultivadas, em especial nos países em desenvolvimento (SILVA *et al.*, 2018). A maior parte do cultivo da espécie acontece na África Subsaariana, principalmente na Nigéria, Níger e Burkina Faso, onde a cultura é muito utilizada na agricultura de subsistência (KAMARA; OMOIGUI; KAMAI, 2018; WENG *et al.*, 2019).

A espécie apresenta um alto valor nutricional (CARVALHO *et al.*, 2017), sobretudo no que se refere aos teores de proteína, ferro e zinco, além de um baixo teor de gordura (JAYATHILAKE *et al.*, 2018). Assim, contribui para a segurança alimentar de milhões de pessoas e apresenta potencial para expansão devido ao aumento no poder de compra, mudança de hábitos alimentares e à crescente busca por alimentos proteicos no mundo (KULKARNI *et al.*, 2018).

No entanto, o feijão-caupi ainda apresenta uma realidade de baixos rendimentos, tanto na África (0,025-0,3 t ha⁻¹), seu centro de origem (KAMARA; OMOIGUI; KAMAI, 2018), como no Brasil (0,46 t ha⁻¹), embora com alto volume produzido devido às grandes áreas destinadas à cultura (EMBRAPA, 2020). A produção de feijão-caupi no país na última safra (2021/2022) foi de 676,9 mil toneladas em um total de 1,28 milhão de hectares (CONAB, 2022).

O feijão-caupi é cultivado no Brasil tradicionalmente nas regiões Nordeste e Norte e, mais recentemente, no Centro-Oeste (DE MELO *et al.*, 2020; DIAS; BERTINI; FREIRE FILHO, 2016; LINDEMANN *et al.*, 2017; SOUSA *et al.*, 2018). O desenvolvimento de cultivares mais produtivas e com arquitetura que possibilita a colheita mecanizada teve grande impacto na expansão do feijão-caupi para outras regiões do país (SORATTO *et al.*, 2020), bem como sua boa adaptação e custo de produção baixo (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Além disso, seu ciclo curto possibilita o cultivo entre safras de outras culturas (KAMARA; OMOIGUI; KAMAI, 2018), como vem sendo realizado no Centro-Oeste e, nos últimos anos, também no Sudeste do Brasil (SORATTO *et al.*, 2020). Na região Sul do país, o cultivo de feijão-caupi também ocorre, mas principalmente com o propósito de forragem e adubação verde, assim como em outros países da Ásia e América (AIOSA *et al.*, 2020; BEVILAQUA *et al.*, 2007; IQBAL *et al.*, 2018; KULKARNI *et al.*, 2018).

Os maiores produtores de grãos de feijão-caupi no Brasil atualmente são: Ceará, Bahia e Mato Grosso. O Ceará ocupou o primeiro lugar em produção total por muitos anos, mas ultimamente esse posto tem sido por vezes do estado de Mato Grosso, devido principalmente à

sua produtividade superior (EMBRAPA, 2020), reflexo da evolução da agricultura brasileira, evidenciada nas regiões de fronteira agrícola (MELO *et al.*, 2020).

No Ceará, o feijão-caupi é cultivado sobretudo por agricultores familiares pouco tecnificados (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). A produtividade da cultura não acompanha os avanços obtidos em outras regiões, devido a utilização de cultivares pouco produtivas, geralmente variedades tradicionais de porte prostrado, sem uso de mecanização, e muitas vezes com cultivo consorciado a outras culturas, isso tudo associado a estresses bióticos e abióticos (CASTRO, 2012; DIAS; BERTINI; FREIRE FILHO, 2016; SILVA *et al.*, 2018). Ainda assim, seu cultivo apresenta grande importância para o estado, com 135,5 toneladas produzidas na safra 2021/2022 e produtividade de 379 kg/ha (CONAB, 2022).

Outra limitação da cultura tem sido o escurecimento de grãos, que ocorre no armazenamento e reduz seu valor comercial (LIMA; TOMÉ; DE ABREU, 2014). Isso está relacionado a compostos presentes principalmente no tegumento do grão, como compostos fenólicos e antocianinas, e acontece tanto no feijão comum como no feijão-caupi (LINDEMANN *et al.*, 2017, 2020).

Para o feijão-caupi, há uma preferência no Nordeste por grãos mulatos e esses estão entre os que mais sofrem escurecimento. Cultivares recomendadas para o Ceará, como o EPACE 10, o EPACE 11 e o EPACE V apresentam essa característica como uma limitação ao seu cultivo (BARRETO, 1999; FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Assim, a seleção de genótipos com menor escurecimento sob armazenamento também se faz necessária.

O comportamento variável dos genótipos de feijão-caupi em diferentes ambientes torna complexa a recomendação de indivíduos com ampla adaptabilidade (SOUSA *et al.*, 2017). Isso porque genótipos podem possuir adaptação ampla ou restrita aos ambientes de cultivo (SILVA *et al.*, 2011). A adaptabilidade tem a ver com a resposta positiva de um genótipo a determinado ambiente, mas o indivíduo também pode apresentar um comportamento previsível em diferentes ambientes, mostrando estabilidade (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

A metodologia GGE Biplot pode ser utilizada na avaliação das interações GxE para identificar essas adaptações amplas (estabilidade) e específicas (adaptabilidade) (GERRANO *et al.*, 2020). Esse método adota o efeito ambiental primário como de menor relevância e seleciona a partir do efeito da interação GxE, que é submetido com o efeito de genótipos à análise de componentes principais SREG (*Site regression*) (DE ABREU *et al.*, 2019). A metodologia GGE Biplot foi utilizada nessa pesquisa como ferramenta para avaliar a

adaptabilidade e estabilidade dos genótipos testados em diferentes ambientes e sistemas de cultivo no semiárido do estado do Ceará.

Expandir o cultivo de culturas para outras regiões ou mesmo recomendar novos genótipos corretamente em regiões de tradicional cultivo constituem-se em desafios, pois a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos devem ser levadas em consideração (CARVALHO *et al.*, 2017). E, além disso, parâmetros relacionados à pós-colheita e às preferências de mercado não podem ser deixados de lado.

Assim, objetivou-se com essa pesquisa avaliar a interação genótipos por ambientes e o escurecimento de grãos sob armazenamento de linhagens de feijão-caupi, bem como recomendar, para o semiárido do estado do Ceará, genótipos produtivos, estáveis, adaptados a diferentes sistemas de cultivo (sequeiro e irrigado) e com escurecimento de grãos reduzido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] é a cultura herbácea anual mais cultivada nas regiões tropicais secas do planeta (BOUKAR *et al.*, 2019). A espécie é dicotiledônea pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, tribo *Phaseoleae* e gênero *Vigna* (PADULOSI; NG, 1997). Apresenta alto teor de proteínas nos grãos (20-25%) e é produzida especialmente em sistemas de produção de baixos insumos nas regiões áridas e semiáridas (HORN; SHIMELIS, 2020), sendo, muitas vezes, subutilizada (GERRANO *et al.*, 2020).

De origem africana, o feijão-caupi foi trazido para o Brasil por colonizadores portugueses por volta do século XVI e, a partir da Bahia, se disseminou pelo país (FREIRE FILHO, 1988; FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Atualmente, a região Nordeste é a principal produtora da espécie, com destaque para o estado do Ceará (EMBRAPA, 2020). A cultura também é relevante na região Norte do Brasil e, mais recentemente, na região Centro-Oeste (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

O feijão-caupi apresenta plasticidade fenotípica, mostrando capacidade de adaptação a diferentes ambientes, o que pode ser justificado por sua variabilidade genética (SOUSA *et al.*, 2018). No próprio estado do Ceará, a cultura é produzida nas mais diversas regiões, com condições climáticas distintas. A cultura também se destaca devido a fatores como tolerância à seca e a capacidade de fixação de nitrogênio (GERRANO *et al.*, 2020).

Além da grande importância na geração de emprego e renda e como fonte de proteína vegetal (SILVA; ROCHA; MENEZES JÚNIOR, 2016), o feijão-caupi se evidencia pela concentração de nutrientes essenciais, como ferro e zinco. A biofortificação da espécie já é trabalhada no Brasil e no mundo, sendo aqui liderada pela Embrapa Agroindústria de Alimentos, que já lançou cultivares com altos teores desses minerais (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2010).

2.2 Interação genótipos por ambientes

Tanto a ampliação das áreas de cultivo de feijão-caupi, seja no Nordeste ou em outras regiões do país, quanto a recomendação eficiente de novas cultivares nas regiões tradicionais de cultivo, demandam estudos sobre a interação genótipos por ambientes. Para isso, materiais genéticos devem ser comparados em diferentes locais e períodos (DE ABREU *et al.*, 2019). Tendo em vista as produtividades variáveis observadas para o feijão-caupi em diferentes locais (OWUSU *et al.*, 2020), essas avaliações podem proporcionar a implantação exitosa de cultivares aos respectivos ambientes (GERRANO *et al.*, 2020).

A interação genótipos (G) por ambientes (E) pode ser definida como alterações no desempenho relativo de um determinado genótipo em ambientes distintos (OWUSU *et al.*, 2020). O desempenho se relaciona então com a adaptação do genótipo às condições às quais ele é submetido. O melhorista de plantas pode ignorar essa interação, reduzi-la ou explorá-la, sendo que, nesse último caso, se torna possível a obtenção de cultivares mais produtivas (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017).

Genótipos com adaptação ampla apresentam comportamentos previsíveis ainda que submetidos a condições ambientais diferentes, enquanto genótipos adaptados, aproveitam vantajosamente as variações ambientais (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017). Para explorar essa interação, se faz necessário estimá-la e conhecê-la (SOUSA *et al.*, 2018). Assim, diversas metodologias têm sido utilizadas nesse sentido, baseadas em diferentes princípios (ALMEIDA *et al.*, 2012).

As metodologias AMMI (*Additive Main Effect and Multiplicative Interaction*) e SREG (*Site regression*), se destacam na avaliação da adaptabilidade e estabilidade produtiva por explicarem os efeitos de genótipos, ambientes e sua interação (SILVA *et al.*, 2011) e podem ser utilizadas nesse sentido. A metodologia AMMI une a análise de variância com análises multivariadas, que são a decomposição de valores singulares e avaliação de componentes principais (PCA) (SILVA *et al.*, 2011). Já a metodologia GGE-Biplot (*Genotype and Genotype by Environments Interaction*) utiliza o modelo de Regressão de Site (SREG) para a avaliação dos dois primeiros componentes principais de uma análise PCA (SOUSA *et al.*, 2018).

Os resultados da análise AMMI devem ser próximos aos obtidos nas análises GGE. No entanto, a segunda, além de sempre explicar mais os dados, apresenta um melhor padrão de visualização dos gráficos (YAN *et al.*, 2007). O método GGE Biplot também permite estimar, através de algoritmos, o genótipo ideal (ideótipo) e aqueles que mais se assemelham deste para as condições testadas, bem como o ambiente ideal, que seria o mais discriminativo na avaliação dos genótipos (GERRANO *et al.*, 2020), além de mega-ambientes, que propiciam a separação

de regiões de cultivo em zonas de características agroecológicas alvo (OWUSU *et al.*, 2020). Dessa forma, fornece diversas informações relevantes ao melhorista tanto na avaliação de ensaios como nas tomadas de decisão quanto ao rumo que o programa deve seguir.

2.3 Escurecimento pós-colheita de grãos

Estudos revelam que espécies da família Fabaceae, de uma forma geral, apresentam escurecimento pós-colheita de grãos (NASAR-ABBAS *et al.*, 2008). Esse fenômeno ocorre tanto em feijão-caupi quanto em feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) (LIMA; TOMÉ; DE ABREU, 2014; PEREIRA *et al.*, 2021), fava (*Vicia faba*) (NASAR-ABBAS *et al.*, 2008) e espécies florestais, como a sucupira preta (*Bowdichia virgilioides*) (SILVA *et al.*, 2021).

Embora a cor do tegumento não seja o parâmetro mais adequado para avaliar o endurecimento de sementes, principalmente de forma isolada (FARIAS *et al.*, 2020), além de não apresentar a mesma influência em diferentes espécies (SILVA *et al.*, 2021), é relevante que os consumidores costumem associar grãos que apresentam escurecimento com uma baixa qualidade culinária (PEREIRA *et al.*, 2021; REIS *et al.*, 2021), especialmente no que se diz respeito ao tempo de cozimento (BOUKAR *et al.*, 2019). Além disso, as diferentes regiões consumidoras também possuem preferências distintas quanto à coloração do tegumento dos grãos (FREIRE FILHO *et al.*, 2011), e essa deve ser levada em consideração nos programas de melhoramento da espécie.

Dessa forma, a compreensão de como se dá o escurecimento dos grãos de feijão-caupi é necessária, tendo em vista a carência de pesquisas que avaliem esses caracteres na espécie, especialmente quando se compara com o feijão comum, em que diversos trabalhos já foram desenvolvidos (BENTO *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021; REIS *et al.*, 2021). Sabe-se que, em leguminosas como o feijão comum, a atividade de algumas enzimas já se mostrou relacionada com o escurecimento de grãos, como é o caso da peroxidase e da polifenoloxidase (LIMA; TOMÉ; DE ABREU, 2014). A oxidação de polifenóis, que são abundantes no tegumento dos grãos de feijão, contribui para sua lignificação e conseqüente endurecimento (BENTO *et al.*, 2021). Outro ponto relevante é que o estresse oxidativo nos grãos de feijão se inicia na sua formação, antes mesmo do amadurecimento, e esse estresse é superior nos grãos que apresentam maior escurecimento (BENTO *et al.*, 2020).

Nesse sentido, ainda são necessárias mais pesquisas para esclarecer esses mecanismos, a fim de permitir um maior avanço no melhoramento, visando uma melhor conservação desses grãos. Tecnologias em pós-colheita também devem ser avaliadas para o feijão-caupi, tendo em vista que o ambiente tem efeito importante no processo de escurecimento dos grãos em geral (REIS *et al.*, 2021), com destaque para o efeito do oxigênio e da temperatura (FARIAS *et al.*, 2020).

REFERÊNCIAS

- AIOSA, M. L. *et al.* Cowpeas as a summer cover crop for forage rye. **Agrosyst Geosci Environ**, v. 3, n. e20057, p. 1–9, 2020.
- ALMEIDA, W. S. DE *et al.* Adaptability and stability of grain yield in cowpea under different biometrics. **Rev. Bras. Agrobiologia**, v. 18, n. 2–4, p. 221–228, 2012.
- BARRETO, P. D. Recursos genéticos e programa de melhoramento de feijão-de-corda no Ceará: avanços e perspectivas. In: QUEIROZ, M. A. DE; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Eds.). **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**. 1. ed. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, 1999. v. 1. p. 231–257.
- BENTO, J. A. C. *et al.* Aging indicators for stored carioca beans. **Food Research International**, v. 134, n. 2020, p. 1–11, 1 ago. 2020.
- BENTO, J. A. C. *et al.* Factors affecting the cooking quality of stored carioca beans (*Phaseolus vulgaris*). **Italian Journal of Food Science**, v. 33, n. 4, p. 43–56, 11 out. 2021.
- BEVILAQUA, G. A. P. *et al.* **Manejo de sistemas de produção de sementes e forragem de feijão-miúdo para a agricultura familiar**. 1. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**. 7. ed. Viçosa (MG): Editora UFV, 2017. v. 1
- BOUKAR, O. *et al.* Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. **Plant Breeding**, v. 138, n. 4, p. 415–424, 2019.
- CARVALHO, L. C. B. *et al.* Genotype x environment interaction in cowpea by mixed models. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 5, p. 872–878, 2017.
- CASTRO, C. N. DE. **A agricultura no nordeste brasileiro: Oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: IPEA, 2012.
- CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da safra brasileira 2021/2022 9º Levantamento**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 22 mai. 2022.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa - MG: Editora UFV, 2014.
- DE ABREU, H. K. A. *et al.* Adaptability and stability of cowpea genotypes via REML/BLUP and gge biplot. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 4, p. 1071–1082, 2019.
- DE MELO, L. F. *et al.* GGE biplot analysis to recommend cowpea cultivars for green grain production. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 321–331, 2020.

DIAS, F. T. C.; BERTINI, C. H. C. DE M.; FREIRE FILHO, F. R. Genetic effects and potential parents in cowpea. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 315–320, 2016.

EMBRAPA. **DADOS DE CONJUNTURA DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO COMUM (Phaseolus vulgaris L.) E CAUPI (Vigna unguiculata (L.) Walp) CEARÁ*. (1985 - 2020)**. Disponível em:

http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/docs/feijao/dadosConjunturais_feijao_ceara.htm. Acesso em: 19 fev. 2022.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivares Ricas em Ferro e Zinco**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/878605/1/FD0031.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2022.

FARIAS, H. F. L. DE *et al.* Bean color and hardness modeling as a function of storage conditions. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e725974414, 7 jun. 2020.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. DE; WATT, E. E. (Eds.). **O caupi no Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa/IITA, 1988. v. 1p. 26–46.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-Caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1. ed. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011.

GERRANO, A. S. *et al.* Genotype and genotype × environment interaction effects on the grain yield performance of cowpea genotypes in dryland farming system in South Africa. **Euphytica**, v. 216, n. 5, p. 1–11, 1 maio 2020.

HORN, L. N.; SHIMELIS, H. Production constraints and breeding approaches for cowpea improvement for drought prone agro-ecologies in Sub-Saharan Africa. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 1, p. 83–91, 1 jun. 2020.

IQBAL, M. A. *et al.* Forage productivity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cultivars improves by optimization of spatial arrangements. **Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias**, v. 9, n. 2, p. 203–219, 2018.

JAYATHILAKE, C. *et al.* Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **J Sci Food Agric**, v. 98, p. 4793–4806, 2018.

KAMARA, A. Y.; OMOIGUI, L. O.; KAMAI, N. Improving cultivation of cowpea in West Africa. In: SIVASANKA, S. *et al.* (Eds.). **Achieving sustainable cultivation of grain legumes**. 1. ed. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2018. v. 2p. 18.

KULKARNI, K. P. *et al.* Harnessing the potential of forage legumes, alfalfa, soybean, and cowpea for sustainable agriculture and global food security. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. September, p. 1–17, 2018.

LIMA, R. A. Z.; TOMÉ, L. M.; DE ABREU, C. M. P. Embalagem a vácuo: Efeito no escurecimento e endurecimento do feijão durante o armazenamento. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 9, p. 1664–1670, 2014.

LINDEMANN, I. D. S. *et al.* Foliar Desiccators Glyphosate, Carfentrazone, and Paraquat Affect the Technological and Chemical Properties of Cowpea Grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 32, p. 6771–6778, 2017.

LINDEMANN, I. DA S. *et al.* Cowpea storage under nitrogen-modified atmosphere at different temperatures: Impact on grain structure, cooking quality, in vitro starch digestibility, and phenolic extractability. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 3, p. 1–9, 2020.

MELO, F. DE B. *et al.* Critical levels and sufficiency ranges for leaf nutrient diagnosis in cowpea grown in the Northeast region of Brazil. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 51, n. 4, p. 1–9, 2020.

NASAR-ABBAS, S. M. *et al.* Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 2008, p. 113–118, 2008.

OWUSU, E. Y. *et al.* Genotype × environment interactions of yield of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) inbred lines in the Guinea and Sudan Savanna ecologies of Ghana. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 23, n. 5, p. 453–460, 1 dez. 2020.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B. *et al.* (Eds.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: Sayce Publishing, 1997. p. 1–12.

PEREIRA, H. S. *et al.* Selection of carioca common bean lines with slow darkening. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 56, 2021.

REIS, R. L. M. *et al.* High temperature increases cooking time and seed darkening of common beans. **Genetics and Molecular Research**, v. 20, n. 2, 2021.

SILVA, G. O. DA *et al.* Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 494–501, 2011.

SILVA, K. J. D. E.; ROCHA, M. DE M.; MENEZES JÚNIOR, J. Â. N. DE. **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. In: BASTOS, E. A. (Ed.). 1. ed. Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte, 2016.

SILVA, M. B. O. *et al.* Agronomic performance of cowpea genotypes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1059–1066, 2018.

SILVA, R. G. *et al.* Permeability to water and viability in heteromorphic color seeds of *Bowdichia virgilioides* Kunth. **Revista Arvore**, v. 45, 2021.

SORATTO, R. P. *et al.* Agronomic optimal plant density for semiupright cowpea as a second crop in southeastern Brazil. **Crop Science**, v. 60, p. 2695–2708, 2020.

SOUSA, M. B. E *et al.* Adaptability and yield stability of cowpea elite lines of semi-prostrate growth habit in the Cerrado biome. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 5, p. 832–839, 2017.

SOUSA, M. B. E *et al.* Genotype By Environment Interaction in Cowpea Lines Using GGE Biplot Method. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 64–71, 2018.

WENG, Y. *et al.* Evaluation of seed protein content in USDA cowpea germplasm. **HortScience**, v. 54, n. 5, p. 814–817, 2019.

YAN, W. *et al.* GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643–655, 2007.

3 ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E ESCURECIMENTO DE GRÃOS NA RECOMENDAÇÃO DE LINHAGENS DE EIJÃO-CAUPI PARA O SEMIÁRIDO CEARENSE

Resumo: O feijão-caupi é uma leguminosa amplamente cultivada no Nordeste brasileiro e que tem ganhado espaço em outras regiões do Brasil. O principal estado produtor do Nordeste é o Ceará, com uma grande área plantada, mas com baixas produtividades, carecendo de tecnificação dos produtores e cultivares adaptadas. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a interação genótipo por ambientes de linhagens de feijão-caupi e a identificação e recomendação de genótipos superiores quanto à adaptabilidade e estabilidade em condições de sequeiro e irrigadas, além de reduzido escurecimento de grãos sob armazenamento. Para isso foram conduzidos seis experimentos em diferentes municípios do estado do Ceará (Crato, Pentecoste, Crateús, Madalena, Bela Cruz e Limoeiro do Norte) e um experimento em laboratório a fim de avaliar o escurecimento de grãos sob armazenamento. O delineamento experimental dos ensaios em campo foi o de blocos ao acaso, com 14 genótipos e 4 repetições. Na análise de variância verificou-se efeito significativo de genótipos, ambientes e sua interação, e então procedeu-se à análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método GGE Biplot. As análises separaram ambientes com e sem irrigação e foram eficientes em representar as variações existentes nos dados. Na avaliação do escurecimento, se utilizou o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial simples com os seis genótipos previamente selecionados em cinco tempos de armazenamento (0, 2, 4, 6 e 8 meses). Verificou-se efeito significativo de genótipos e tempo de armazenamento. O genótipo 1 apresentou menor escurecimento com relação aos demais e pode ser recomendado aos ambientes onde melhor se adaptou (Crato e Crateús). O genótipo 9 foi o considerado mais estável dentre os avaliados para rendimento de grãos e pode ser recomendado de forma mais ampla para o semiárido do estado do Ceará.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. GGE Biplot. Interação genótipos por ambientes.

Abstract: Cowpea is a legume widely cultivated in Northeast Brazil and has gained space for other regions of Brazil. The main producing state in the Northeast is Ceará, with a large planted area, but with low yields, lacking the technification of producers and adapted cultivars. The objective of this work was to evaluate the genotype interaction by environments of cowpea lines and the identification and recommendation of superior genotypes regarding adaptability and stability under rainfed and irrigated conditions, in addition to reduced grain browning under

storage. For this, six field experiments were carried out in different cities in the state of Ceará (Crato, Pentecoste, Crateús, Madalena, Bela Cruz and Limoeiro do Norte) and a laboratory experiment to evaluate the browning of grains under storage. The experimental design of field trials was randomized blocks, with 14 genotypes and 4 replications. In the analysis of variance, a significant effect of genotypes, environments and their interaction was verified, and then the adaptability and stability analysis was carried out using the GGE Biplot method. The analyzes separated environments with and without irrigation and were efficient in representing the existing variations in the data. In the evaluation of browning, a completely randomized design was used in a simple factorial scheme with the six genotypes previously selected in five storage times (0, 2, 4, 6 and 8 months). There was a significant effect of genotypes and storage time. Genotype 1 showed less browning compared to the others and can be recommended to environments where it best adapted (Crato and Crateús). Genotype 9 was considered the most stable among those evaluated for grain yield and can be recommended more broadly for the semiarid of state of Ceará.

Keywords: *Vigna unguiculata*. GGE Biplot. Genotype X environment interaction.

3.1 Introdução

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma leguminosa de ampla distribuição global e que apresenta grande importância em regiões semiáridas, tendo como maior produtor o continente africano, seu local de origem, com destaque para Nigéria, Níger e Burkina Faso (OMOMOWO; BABALOLA, 2021). A espécie também é cultivada em outras regiões, como o Sudoeste asiático, a Bacia Mediterrânea, os Estados Unidos e a América Latina, com destaque para o Brasil (HERNITER; MUÑOZ-AMATRIAÍN; CLOSE, 2020).

O cultivo do feijão-caupi é desenvolvido sob diferentes métodos, que vão desde a subsistência em sequeiro, praticada por agricultores com pouco acesso a tecnologias como insumos e sementes melhoradas, até sistemas bastantes tecnificados (HERNITER; MUÑOZ-AMATRIAÍN; CLOSE, 2020; KEBEDE; BEKEKO, 2020). Dessa forma, o rendimento médio da cultura acaba ficando muito abaixo do seu potencial nas principais regiões de cultivo (ABIRIGA *et al.*, 2020; ARAMÉNDIZ-TATIS; CARDONA-AYALA; ESPITIA-CAMACHO, 2021). No Brasil, a espécie é mais cultivada na região Nordeste, que corresponde à maior produtora devido à grande área plantada, embora apresente baixos rendimentos (EMBRAPA, 2020).

Algumas cultivares de feijão-caupi apresentam escurecimento do tegumento da semente quando armazenadas e isso representa perdas pela redução do seu valor comercial (LIMA; TOMÉ; DE ABREU, 2014). Normalmente se associa a coloração clara do tegumento dos grãos às características de feijões recém-colhidos (RIBEIRO; JOST; CARGNELUTTI FILHO, 2004), o que relaciona grãos mais escuros a grãos velhos e de difícil cocção. No Nordeste, em particular, há uma preferência por sementes mulatas e essas costumam sofrer com o escurecimento, se fazendo necessária uma recomendação para a região de genótipos que atendam às exigências do mercado, mas que também apresentem escurecimento de grãos reduzido. É sabido que ainda existe carência de tecnologias voltadas à espécie, bem como de cultivares que reúnam os diversos fenótipos de interesse, como resistência a estresses bióticos e abióticos, arquitetura adequada e grãos comercialmente aceitos, sempre associados à alta produtividade (ALVES *et al.*, 2020).

Para a recomendação segura de novos genótipos é essencial ter conhecimento da interação genótipos por ambientes e, para isso, se faz necessário a realização de avaliações desses materiais genéticos em diferentes locais e/ou épocas de plantio (ABIRIGA *et al.*, 2020; ARAMÉNDIZ-TATIS; CARDONA-AYALA; ESPITIA-CAMACHO, 2021; DE ABREU *et al.*, 2019). Além disso, os sistemas de cultivo adotados, como sequeiro ou irrigado, devem ser levados em consideração, por fornecerem condições ambientais distintas aos genótipos, e tendo em vista que o rendimento da espécie é muito influenciado pelo regime hídrico (DZDEMIR; ÜNLÜKARA; KURUNC, 2009). Para se obter informações sobre o comportamento dos genótipos em cada ambiente e continuar atendendo às demandas do mercado, a seleção de linhagens com boa adaptabilidade e estabilidade nas principais regiões produtoras e sistemas de cultivo é fundamental (ALVES *et al.*, 2020; DA CRUZ *et al.*, 2021).

O método GGE Biplot baseia-se na análise de componentes principais e é amplamente utilizado para estimar adaptabilidade e estabilidade (DA CRUZ *et al.*, 2020). No GGE Biplot, o efeito de genótipos (G) é obtido como um efeito multiplicativo da interação genótipos por ambientes (GE), tendo em vista que o efeito ambiental isolado não é adequado para recomendar genótipos (DE ABREU *et al.*, 2019). Assim, esse trabalho teve como objetivo analisar a interação genótipos por ambientes e selecionar genótipos de feijão-caupi com maior produtividade de grãos, estabilidade, adaptabilidade e menor escurecimento de grãos para os sistemas de cultivo irrigado e de sequeiro no semiárido cearense.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Design experimental

Seis ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) foram conduzidos com 14 genótipos de feijão-caupi oriundos do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte. Os genótipos consistiram em doze linhagens obtidas de seleção de plantas individuais com teste de progênie e duas cultivares utilizadas como testemunhas (Tabela 1).

Tabela 1 – Identificação, procedência e subclasse comercial dos genótipos utilizados.

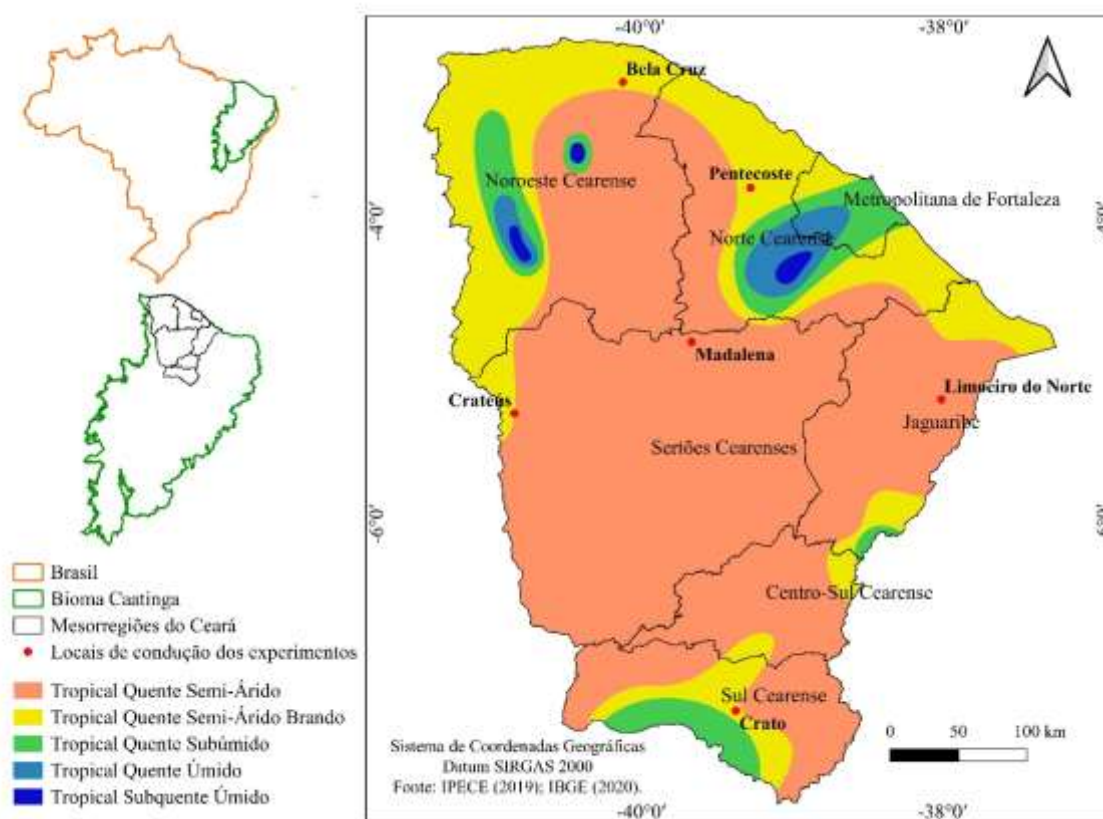
ID	Genótipos	Parentais/Procedência	Subclasse comercial
1	Bico-de-ouro 1-5-11	Seleção de plantas individuais com	SV
2	Bico-de-ouro 1-5-15	teste de progênie, a partir de	SV
3	Bico-de-ouro 1-5-19	plantas coletadas no estado do	SV
4	Bico-de-ouro 1-5-24	Mato Grosso	ML
5	Pingo-de-ouro 1-5-26	Seleção de plantas individuais com	ML
6	Pingo-de-ouro 1-5-4	teste de progênie, a partir de	ML
7	Pingo-de-ouro 1-5- 5	plantas coletadas na região	ML
8	Pingo-de-ouro 1-5-7	semiárida do Piauí	ML
9	Pingo-de-ouro 1-5-8		ML
10	Pingo-de-ouro 1-5-10		ML
11	Pingo-de-ouro 1-5-11		ML
12	Pingo-de-ouro 1-5-14		ML
13	BRS Tumucumaque	TE96-282-22G x IT87D-611-3	BR
14	BRS Imponente	MNC00-553D-8-1-2-3 x MNC01-626F-11-1	BC

Fonte: elaborada pelo autor.

BC: Brancão; BR: Branco; ML: Mulato; SV: Sempre-verde

Os ensaios foram conduzidos em locais distintos no estado do Ceará, nos municípios de Crato, Pentecoste, Crateús, Madalena, Bela Cruz e Limoeiro do Norte, localizados em cinco mesorregiões do estado (Figura 1). Os experimentos foram instalados em diferentes períodos do ano e realizou-se irrigação nos ensaios E1, E3 e E5, enquanto os demais foram conduzidos em sequeiro, durante o período chuvoso (Tabela 2).

Figura 1 – Representação dos locais de condução dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) no semiárido do estado do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Ambientes onde foram conduzidos os ensaios e seus respectivos códigos, data de semeadura, altitude, coordenadas geográficas e precipitação pluviométrica acumulada durante a condução dos ensaios.

Código	Local	Semeadura	Altitude	Latitude	Longitude	Precipitação
E1	Crato	ago/2016	435 m	07°14'08" S	39°22'09" W	25,5 mm
E2	Pentecoste	mar/2018	86 m	3°47' S	39°16'13" W	452,2 mm
E3	Crateús	set/2018	275 m	5°16'05" S	40°50'01" W	7,2 mm
E4	Madalena	fev/2019	302 m	4°47'43" S	39°39'24" W	184,3 mm
E5	Bela Cruz	jul/2019	9 m	3°04'48" S	40°06'37" W	3,1 mm
E6	Limoeiro do Norte	jan/2020	143 m	5°10'59.4" S	38°00'21" W	426,7 mm

Fonte: Adaptado de FUNCEME (2021).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. A parcela experimental correspondeu a 10 m², equivalente a quatro filas de 5 m de comprimento espaçadas a 0,5 m. Foram avaliadas as filas centrais e as duas filas laterais

corresponderam à bordadura. O espaçamento entre covas foi de 0,25 m, sendo mantidas duas plantas por cova, formando uma população de 160 mil plantas ha⁻¹.

O preparo do solo das áreas foi feito de forma convencional, com aração e gradagem. A adubação foi realizada de acordo com a análise de solo (Apêndice A) e a recomendação para a cultura (CRAVO; VIÉGAS; BRASIL, 2007). No plantio, foram utilizados os adubos superfosfato simples e cloreto de potássio. Em cobertura, quinze dias após o plantio, se utilizou ureia como fonte de nitrogênio. Para controle de pragas utilizaram-se defensivos a base de deltametrina e enxofre. A produtividade de grãos (PROD), em kg ha⁻¹, foi avaliada nos diferentes ensaios.

A luminosidade dos grãos foi analisada sob armazenamento de genótipos selecionados para adaptabilidade e estabilidade pelo método da reflexão especular exclusiva, em colorímetro (ColoQuest XE, HunterLab, Estados Unidos). Os grãos tiveram a umidade padronizada para 12% pelo método de estufa a baixa temperatura (BRASIL, 2009) no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) da UFC. Estes foram embalados em sacos de polietileno de 20 µm e selados. Cada embalagem recebeu 500 g de feijão e o armazenamento se deu em condições ambientais (25 °C ± 5 °C e 55% ± 15%). Os tempos de armazenamento avaliados foram: tempo I (colheita), tempo II (2 meses), tempo III (4 meses), tempo IV (6 meses) e tempo V (8 meses).

3.2.2 Análise dos dados

Após a verificação da normalidade dos dados do caráter produtividade de grãos e da homocedasticidade das variâncias, foram então realizadas as análises de variância (ANOVA) individuais e conjunta. Nas análises individuais, o modelo adotado foi:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

em que: Y_{ij} corresponde ao valor fenotípico do genótipo i no bloco j , μ é a média geral, G_i é o efeito do i -ésimo genótipo, B_j é o efeito do j -ésimo bloco e ε_{ij} corresponde ao erro associado ao i -ésimo genótipo no j -ésimo bloco.

A fim de identificar possíveis interações genótipos por ambientes, a análise de variância conjunta foi realizada segundo o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

em que: Y_{ijk} corresponde ao valor fenotípico do genótipo i no ambiente j e no bloco k , μ é a média geral do caráter, G_i é o efeito do i -ésimo genótipo, considerado fixo, A_j é o efeito do j -ésimo ambiente, considerado aleatório, GA_{ij} é o efeito da interação do genótipo i com o ambiente j , considerado aleatório, e ε_{ijk} corresponde ao erro aleatório associado ao i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente e k -ésimo bloco. Posteriormente, as médias foram agrupadas pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o *software* GENES (CRUZ, 2013).

Para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos, utilizou-se a metodologia GGE-Biplot e realizou-se a separação dos ambientes de cultivo em sequeiro e irrigados. O GGE considera duas fontes de variação (G+GE), sem separar o efeito do genótipo e da interação (YAN *et al.*, 2007), como se pode observar na equação a seguir:

$$Y_{ij} - \mu - B_j = \gamma_{i1}\alpha_{j1} + \gamma_{i2}\alpha_{j2} + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

em que: Y_{ijk} corresponde à produtividade média de grãos do genótipo i no ambiente j , μ é a média geral, B_j é o efeito do ambiente j , γ_{i1} e α_{j1} são os escores principais do genótipo i e ambiente j , respectivamente, e γ_{i2} e α_{j2} são os escores secundários do genótipo i e ambiente j , respectivamente, e ε_{ijk} corresponde ao resíduo não explicável por nenhum dos efeitos.

Os gráficos GGE Biplot foram gerados pela simples dispersão de γ_{i1} e γ_{i2} para genótipos e α_{j1} e α_{j2} para ambientes, através de decomposição em valores singulares, de acordo com a seguinte equação:

$$Y_{ij} - \mu - B_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ijk} \quad (4)$$

em que: λ_1 e λ_2 são os maiores autovalores para os componentes principais 1 e 2 (PCA1 e PCA2), respectivamente, ξ_1 e ξ_2 são os autovalores do genótipo i para PCA1 e PCA2, respectivamente, e η_1 e η_2 são os autovalores do ambiente j para PCA1 e PCA2, respectivamente.

A acurácia foi estimada segundo Resende (2002):

$$A = \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{1/2} \quad (5)$$

em que: F é o valor da razão das variâncias para o efeito de genótipos, associada à ANOVA.

Os ambientes foram classificados em favoráveis e desfavoráveis segundo o método de Annicchiarico (1992) e um *heatmap* foi gerado para visualização da performance dos genótipos nos diferentes ambientes. As análises foram realizadas no *software* R (R CORE TEAM, 2017), pacote *metan* (OLIVOTO; LÚCIO, 2020).

Para os dados de luminosidade, se observaram os pressupostos e procedeu-se à análise de variância e posterior teste de médias (Scott-Knott) com os seis genótipos mais

adaptados e/ou estáveis. A ANOVA foi realizada em esquema fatorial simples 6x5 (6 genótipos x 5 tempos de armazenamento), se utilizando o *software* GENES (CRUZ, 2013).

3.3 Resultados e discussão

A análise de variância conjunta mostrou diferença significativa entre os genótipos ($p < 0,05$) e ambientes analisados ($p < 0,01$), bem como na interação genótipos por ambientes ($p < 0,01$) (Tabela 3). Isso revela que os genótipos apresentaram comportamentos distintos quanto ao rendimento de grãos e que essa variável foi também influenciada pelos ambientes de cultivo, além de haver interação entre esses fatores. Resultados similares foram obtidos ao se avaliar o rendimento de genótipos de feijão-caupi em diferentes ambientes, no Brasil e em outras regiões produtoras (ABIRIGA *et al.*, 2020; ARAMÉNDIZ-TATIS; CARDONA-AYALA; ESPITIA-CAMACHO, 2021; DA CRUZ *et al.*, 2020; DE MELO *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2017; TOMAZ *et al.*, 2022).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 14 genótipos de feijão-caupi avaliados em seis locais no estado do Ceará.

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios
Genótipos (G)	13	561726,04*
Ambientes (E)	5	7436094,79**
G x E	45	263749,43**
Resíduos	164	92309,87
Média	-	1154,58
Acurácia	-	0,83

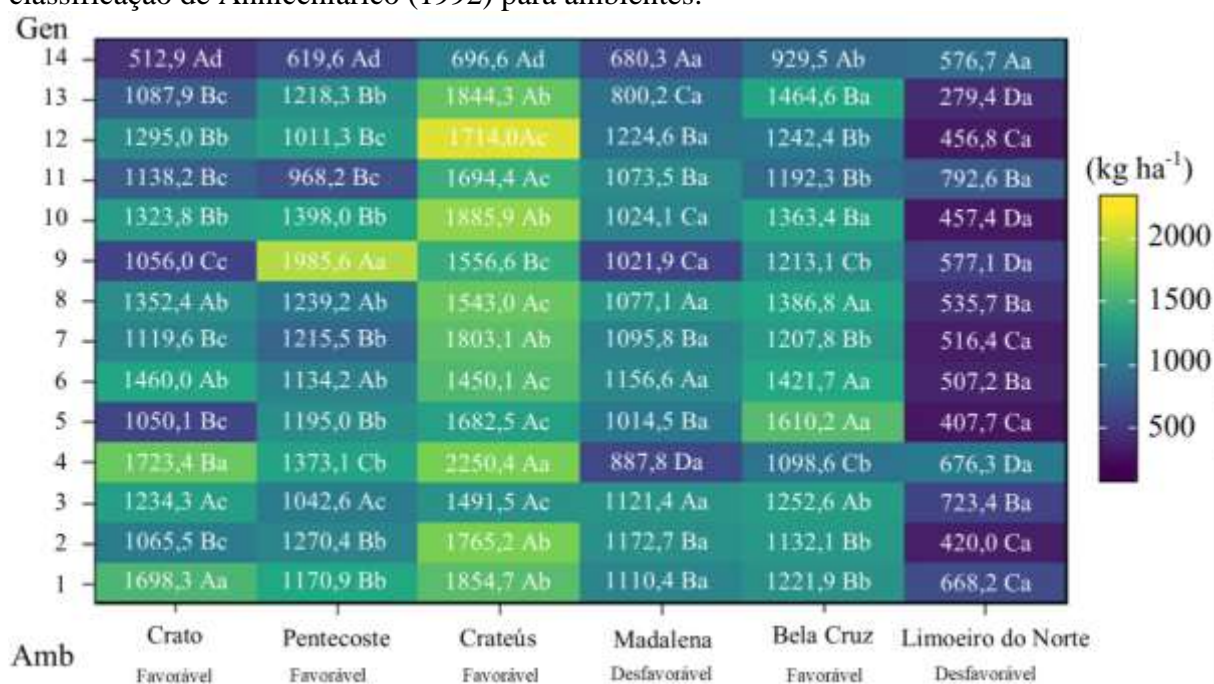
Fonte: elaborada pelo autor.

A interação G X E significativa justifica as avaliações de adaptabilidade e estabilidade (ARAMÉNDIZ-TATIS; CARDONA-AYALA; ESPITIA-CAMACHO, 2021), em especial quando se trata de um caráter complexo como o rendimento de grãos (ABIRIGA *et al.*, 2020). A acurácia obtida é considerada alta, sendo favorável à recomendação de cultivares (RESENDE, 2002).

As interações genótipos por ambientes foram do tipo complexa para o rendimento de grãos de feijão-caupi (Figura 2). Pode-se observar um *ranking* diferente de genótipos nos ambientes avaliados, os quais foram classificados como favoráveis ou não para seu cultivo de

acordo com Annicchiarico (1992). Esse método auxilia na identificação de genótipos estáveis, os quais devem apresentar baixa sensibilidade a ambientes desfavoráveis (PEREIRA *et al.*, 2009). Os ambientes Crato, Pentecoste, Crateús e Bela Cruz foram classificados como favoráveis, enquanto Madalena e Limoeiro foram desfavoráveis. O rendimento de grãos nos ensaios variou de 279,4 a 2250,4 kg ha⁻¹, para os genótipos 13 (BRS-Tumucumaque) e 4 (Bico-de-ouro 1-5-24), respectivamente.

Figura 2 – *Heatmap*, agrupamento de médias de rendimento de feijão-caupi (kg ha⁻¹) e classificação de Annicchiarico (1992) para ambientes.



Fonte: elaborada pelo autor.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula horizontalmente e/ou mesma letra minúscula verticalmente pertencem ao mesmo grupamento pelo Teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

As interações genótipo por ambiente complexas são mais desafiadoras para os melhoristas (EVANGELISTA *et al.*, 2021), pois dificultam uma recomendação mais ampla. Devido a essas interações, se fazem ainda mais importantes as análises de adaptabilidade e estabilidade, a fim de selecionar e recomendar de forma mais precisa as linhagens avaliadas (DA CRUZ *et al.*, 2021). A metodologia GGE Biplot tem grande relevância nesses casos, contribuindo para uma maior precisão nessa seleção (DA CRUZ *et al.*, 2020).

Os dois principais componentes gerados pelas análises GGE (PC1 E PC2) explicaram 89,47% e 86,94% da variação total dos dados de rendimento de grãos para os ambientes irrigados e em sequeiro, respectivamente (Figura 3). Isso mostra que os biplots representaram bem as interações existentes e, ao se separarem os sistemas de cultivo, os

componentes se tornaram ainda mais representativos. Os dois primeiros componentes captam menos informações conforme aumentam-se os ambientes avaliados (TOMAZ *et al.*, 2022).

No GGE Biplot (G+GE) o primeiro componente principal (PC1) correlaciona o rendimento de grãos com o efeito do genótipo, enquanto o segundo componente (PC2) resume as fontes de variação que levam a grandes diferenças no rendimento desses genótipos entre os locais avaliados, representando a interação genótipos por ambiente (DA CRUZ *et al.*, 2020; YAN *et al.*, 2000).

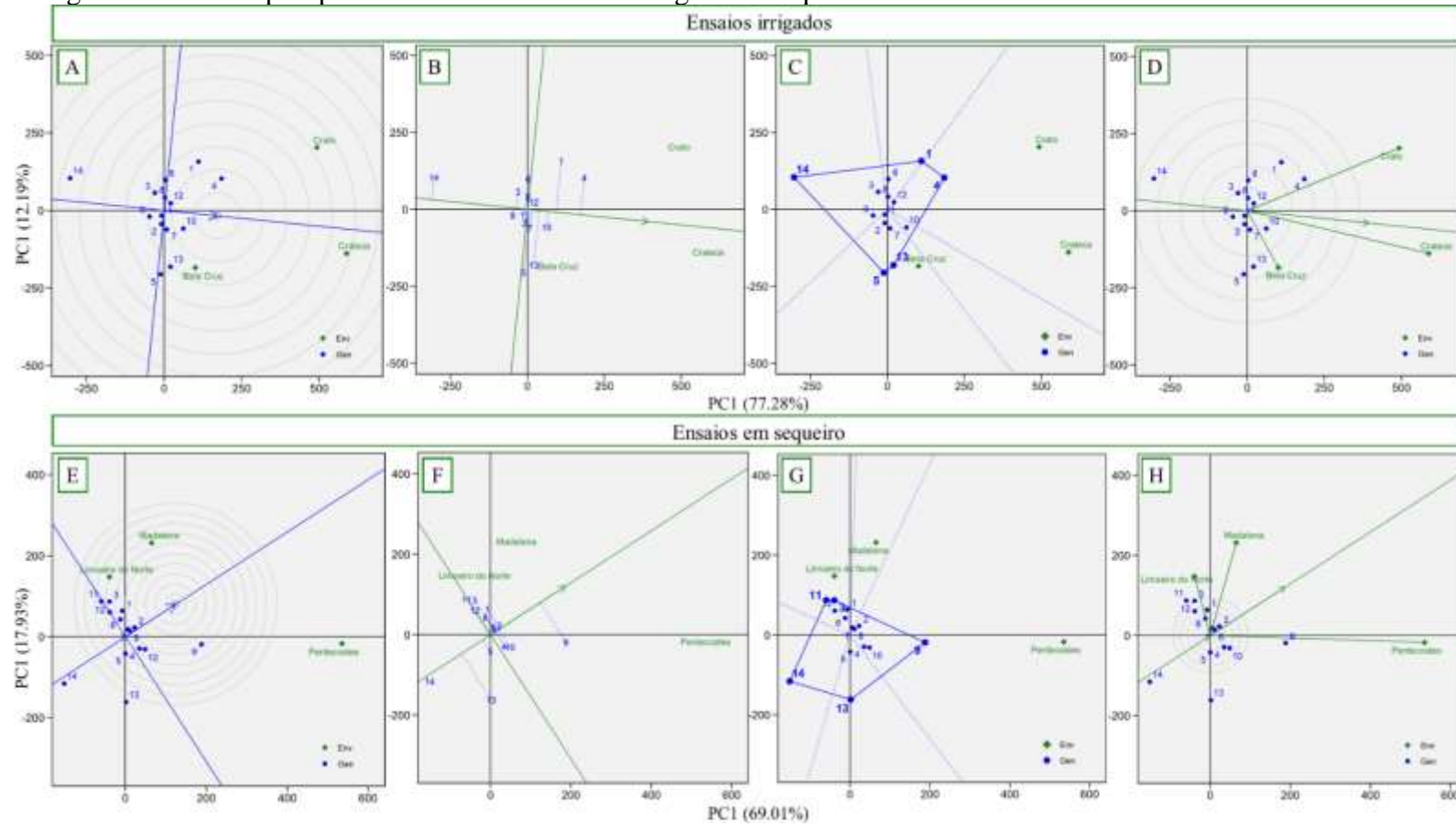
Na Figura 3, os gráficos A e E exibem o *ranking* dos genótipos. Neles, a seta apresentada no centro dos círculos concêntricos marca a mesma distância entre a origem e o vetor mais longo dos ambientes, representando o genótipo ideal: aquele que apresentaria alto rendimento de grãos em todos os ambientes avaliados (DE MELO *et al.*, 2020; YAN; TINKER, 2006). Assim, os indivíduos localizados mais próximos a esse ideótipo, como os genótipos 4 e 10 para os ambientes irrigados e os genótipos 9 e 2 para sequeiro, são os que apresentaram maior produtividade de grãos e estabilidade nesses locais. Os resultados distintos para ambientes em regimes hídricos diferenciados ressaltam a importância da separação das análises de adaptabilidade e estabilidade para esses sistemas de produção.

Os gráficos B e F (Figura 3) intitulam-se média vs. estabilidade e neles podemos observar que genótipos com uma maior projeção no eixo PC2 apresentaram menor estabilidade, mas maior produtividade nos ambientes mais próximos à sua posição. A seta destaca a coordenada do ambiente médio, que é o ponto de maior estabilidade (DA CRUZ *et al.*, 2020).

Para a condição irrigada, o genótipo 10 foi estável, mas não apresentou a maior média, enquanto o genótipo 13 se destacou nos ambientes Bela Cruz e Crateús (maior adaptabilidade), mas não teve o mesmo desempenho no ambiente Crato, apresentando assim uma menor estabilidade. O genótipo 10 também foi considerado estável quando avaliado no estado do Rio de Janeiro, em condições edafoclimáticas distintas (DA CRUZ *et al.*, 2020).

Para a condição de sequeiro, por exemplo, o genótipo 8 apresentou comportamento estável nos três ambientes, mas também não foi destaque em produtividade. Genótipos estáveis se comportam de forma similar em uma gama de ambientes, enquanto genótipos adaptados são beneficiados em determinadas condições. Assim, em cada caso se deve analisar e selecionar os que atendam aos objetivos do programa (CARVALHO *et al.*, 2016).

Figura 3 – GGE Biplot para ensaios em ambientes irrigados e sequeiro.



Fonte: elaborada pelo autor.

A e E: *Ranking* de genótipos; B e F: Média vs. estabilidade; C e G: Quem vence onde; D e H: Discriminação vs. representatividade. A, B, C e D: Ensaios irrigados. E, F, G e H: Ensaios em sequeiro.

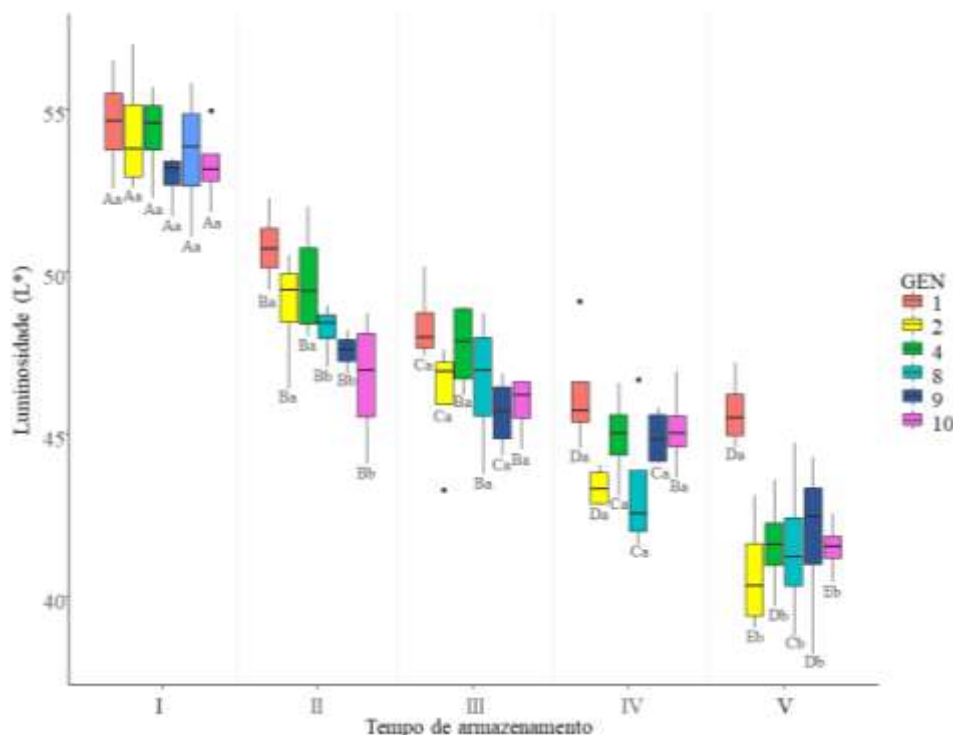
A análise GGE Biplot é capaz de delimitar mega ambientes, nos quais o padrão de interação genótipos por ambiente é similar, o que representa interações simples ou com menores alterações no *ranking* de genótipos (CARVALHO *et al.*, 2016). Na Figura 3-C pode-se observar a formação de dois mega ambientes, tendo os genótipos 4 e 13 se localizado nos vértices, o que os classifica como mais responsivos a esses locais. Na Figura 3-G os genótipos 9 e 3 foram os mais adaptados aos três mega ambientes formados.

A metodologia GGE Biplot também é capaz de classificar os ambientes analisados quanto a sua representatividade e poder de discriminação dos genótipos. O comprimento do vetor do ambiente com relação ao PC1 está associado ao seu poder de discriminação (DA CRUZ *et al.*, 2020; YAN *et al.*, 2000; YAN; TINKER, 2006). Assim, nas Figuras 3-D e 3-H, observamos que Crateús (E3) e Pentecoste (E2) foram, portanto, os mais discriminantes dentre os avaliados para o cultivo irrigado e em sequeiro, respectivamente. Esses ambientes também foram os mais representativos, devido ao menor ângulo formado com o eixo do ambiente médio (TOMAZ *et al.*, 2022). Ambientes que formam ângulos agudos entre si estão correlacionados positivamente, enquanto ambientes cujos eixos formam ângulos obtusos, estão negativamente correlacionados (YAN; TINKER, 2006). Esses resultados corroboraram com a classificação de Annicchiarico, já que a correlação entre ambientes favoráveis e desfavoráveis, como E1 com E5 ou E2 com E6, foi pequena ou inexistente. De Melo *et al.* (2020) e Tomaz *et al.* (2022) também observaram correlações positivas e negativas entre ambientes em cultivo de feijão-caupi no estado do Ceará ao utilizar a metodologia GGE Biplot. Dessa forma, é essencial identificar genótipos para cada condição, devido às diferenças significativas entre os ambientes avaliados. Além disso, o delineamento dos programas de melhoramento genético para a cultura deve levar isso em consideração, desenvolvendo estratégias que possibilitem uma recomendação eficiente.

Com relação ao escurecimento de grãos sob armazenamento, houve diferença significativa entre os seis genótipos selecionados por destaque em adaptabilidade e estabilidade (1, 2, 4, 8, 9 e 10) ($p < 0,01$). Também foram significativos os tempos de armazenamento ($p < 0,01$), mas não houve interação (Tabela 6 - Anexo). Observou-se que houve diminuição da luminosidade (L^*) em todos os genótipos ao longo do tempo, mas o genótipo 1 apresentou menor escurecimento em relação aos demais, não apresentando diferença na luminosidade entre seis e oito meses de armazenamento, e diferindo estatisticamente dos demais na última avaliação (Figura 4). Na análise colorimétrica, a variável luminosidade é a mais relevante para

detectar escurecimento de grãos, já que avalia a claridade da cor do tegumento, com variação do preto ao branco (RIBEIRO; JOST; CARGNELUTTI FILHO, 2004).

Figura 4 – Boxplot de luminosidade (L^*) sob armazenamento de grãos de genótipos selecionados de feijão-caupi.



Fonte: elaborada pelo autor.

Tempo I: colheita; Tempo II: 2 meses; tempo 3: 4 meses; tempo 4: 6 meses; tempo 5: 8 meses.

Os genótipos 2, 4, 8, 9 e 10 tiveram redução da luminosidade dos grãos com o armazenamento acima de 21,5%, e o genótipo 1 reduziu apenas 16,3%. O genótipo que mais escureceu após os oito meses de armazenamento foi o 2, com 25,8% de redução de luminosidade. Ribeiro, Jost e Cargnelutti Filho (2004) citam uma luminosidade ideal acima de 53 para grãos de feijão carioca, e que esse valor não seja alterado com o tempo ou condições ambientais, mas ressaltam essa possibilidade de alteração. Os genótipos aqui selecionados, no momento da colheita (Tempo I) apresentaram luminosidade variando de 52,9 a 54,6, mas ao final dos oito meses de armazenamento, a variação foi de 41,5 a 45,7.

O genótipo 1 apresentou a maior média no ambiente Crato e a terceira maior média em Crateús, ambos em regime irrigado. Ele não se apresentou estável em todos os ambientes avaliados, mas pode ser recomendado para os locais onde se adaptou melhor, como alternativa de cultivar com menor escurecimento de grãos. O genótipo 9, considerado estável, apresentou rendimento de grãos superior às testemunhas em todos os ambientes avaliados e ficou atrás

apenas do genótipo 1 em menor escurecimento. Da Cruz *et al.* (2020) também recomendaram o genótipo por sua estabilidade.

Para que essas cultivares estejam disponíveis no mercado, é importante que haja seu lançamento, divulgação e incentivo aos agricultores e aos produtores de sementes. No programa de distribuição de sementes para agricultores do estado do Ceará, apenas duas cultivares (Pujante e IPA 207 Miranda) foram fornecidas no último ano por falta de oferta pelos licitantes (CEARÁ. SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2021). A distribuição de sementes de cultivares estáveis ou adaptadas em determinados locais do estado pode contribuir para aumentar a produtividade média do feijão-caupi no Ceará, que é de 329 kg ha⁻¹(EMBRAPA, 2020).

3.4 Conclusões

O genótipo 9 pode ser recomendado para o semiárido do estado do Ceará por ser estável e apresentar bom rendimento de grãos. Os genótipos 1, 4, 8 e 10 são os mais adaptados aos ambientes irrigados e os genótipos 1, 2, 7 e 9 aos locais de cultivo em sequeiro.

O genótipo 1, além de bom desempenho produtivo, apresenta menor escurecimento de grãos sob armazenamento e pode ser recomendado a produtores e revendedores que estocam o produto, a fim de garantir melhor qualidade na pós-colheita.

3.5 Referências

- ABIRIGA, F. *et al.* Harnessing genotype-by-environment interaction to determine adaptability of advanced cowpea lines to multiple environments in Uganda. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 12, n. 2, p. 131–145, 2020.
- ALVES, S. M. *et al.* Adaptability, stability, and agronomic performance of cowpea lines in Mato Grosso, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 1–7, 2020.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in northern Italy. *J. Genet. Breed.*, 46: 269-278. **J. Genet. & Breed**, v. 46, n. January 1992, p. 269–296, 1992.
- ARAMÉNDIZ-TATIS, H.; CARDONA-AYALA, C.; ESPITIA-CAMACHO, M. Stability and phenotypic adaptability by AMMI analysis in cowpea beans (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)1. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 52, n. 3, p. 1–8, 2021.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília, DF: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009.

CARVALHO, L. C. B. *et al.* Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 12, p. 990–1000, 2016.

CEARÁ. SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Projeto Hora de Plantar - Manual Operacional 2020/2021**. 34. ed. Fortaleza, CE: Governo do Estado do Ceará, 2021.

CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.

DA CRUZ, D. P. *et al.* Analysis of the phenotypic adaptability and stability of strains of cowpea through the GGE Biplot approach. **Euphytica**, v. 216, n. 10, 2020.

DA CRUZ, D. P. *et al.* Combined selection for adaptability, genotypic stability and cowpea yield from mixed models. **Ciencia Rural**, v. 51, n. 9, 2021.

DE ABREU, H. K. A. *et al.* Adaptability and stability of cowpea genotypes via REML/BLUP and gge biplot. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 4, p. 1071–1082, 2019.

DE MELO, L. F. *et al.* GGE biplot analysis to recommend cowpea cultivars for green grain production. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 321–331, 2020.

ĐZDEMIR, O.; ÜNLÜKARA, A.; KURUNC, A. Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to salinity and irrigation regimes. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 37, n. 3, p. 271–280, set. 2009.

EMBRAPA. **DADOS DE CONJUNTURA DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) E CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) CEARÁ* (1985 - 2020)**. Disponível em:

http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/docs/feijao/dadosConjunturais_feijao_ceara.htm. Acesso em: 19 fev. 2022.

EVANGELISTA, J. S. P. C. *et al.* Soybean productivity, stability, and adaptability through mixed model methodology. **Ciencia Rural**, v. 51, n. 2, p. 1–7, 2021.

FUNCEME. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Disponível em: <http://www3.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario?data=hoje>. Acesso em: 25 mar. 2021.

HERNITER, I. A.; MUÑOZ-AMATRIÁIN, M.; CLOSE, T. J. Genetic, textual, and archeological evidence of the historical global spread of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). **Legume Science**, v. 2, n. 4, p. 1–10, 2020.

KEBEDE, E.; BEKEKO, Z. Expounding the production and importance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 6, n. 1, 2020.

LIMA, R. A. Z.; TOMÉ, L. M.; DE ABREU, C. M. P. Embalagem a vácuo: Efeito no escurecimento e endurecimento do feijão durante o armazenamento. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 9, p. 1664–1670, 2014.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C. metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783–789, 2020.

OMOMOWO, O. I.; BABALOLA, O. OLURANTI. Constraints and prospects of improving cowpea productivity to ensure food, nutritional security and environmental sustainability. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 751731, 2021.

PEREIRA, H. S. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 29–37, 2009.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna R Foundation for Statistical Computing, 2017.

RESENDE, M. D. V. DE. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos da interação genótipo x ambiente no ciclo e na coloração do tegumento dos grãos do feijoeiro comum. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 373–380, 2004.

SOUSA, M. B. E *et al.* Adaptability and yield stability of cowpea elite lines of semi-prostrate growth habit in the Cerrado biome. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 5, p. 832–839, 2017.

TOMAZ, F. L. DE S. *et al.* Indication of cowpea cultivars for the production of dry grain in the. **Revista Ciencia Agrônômica**, v. 53, p. 1–12, 2022.

YAN, W. *et al.* Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, v. 40, n. 3, p. 597–605, 2000.

YAN, W. *et al.* GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643–655, 2007.

YAN, W.; TINKER, N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 3, p. 623–645, 2006.

4 ESCURECIMENTO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI SOB ARMAZENAMENTO

Resumo: O feijão-caupi é tradicionalmente cultivado nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, onde seu consumo é também superior às demais regiões do país. A espécie apresenta grande variação quanto ao tegumento dos grãos e existem preferências regionais quanto a essa característica. Com o armazenamento, diversas cultivares apresentam escurecimento dos grãos, fenômeno que reduz a qualidade do produto e está associado à composição química e atividade enzimática, bem como às condições de armazenamento às quais as sementes são submetidas. Objetivou-se com essa pesquisa avaliar 15 genótipos de feijão-caupi com relação à luminosidade dos grãos e atividade enzimática, a fim de identificar e recomendar genótipos de menor escurecimento sob armazenamento em condição ambiente. Para avaliar o escurecimento, adotou-se a luminosidade (L^*), obtida através de colorímetro, pelo método da reflexão especular exclusiva. Esse parâmetro foi associado ao teor de polifenóis extraíveis totais (POL) e à atividade enzimática de peroxidase (PER) e polifenoloxidase (PPO), obtidas com leitura dos respectivos extratos em espectrofotômetro de microplaca. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial simples (15 genótipos x 5 períodos – 0, 2, 4, 6 e 8 meses) com três repetições. O genótipo que menos escureceu foi o 15 (Setentão), que pode ser recomendado para mercados mais exigentes quanto à perda de luminosidade ao longo do tempo. Os genótipos mulatos apresentaram maior tendência de escurecimento, enquanto os de tegumento branco não escureceram ao longo do tempo avaliado.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Pós-colheita de grãos. Atividade enzimática.

Abstract: Cowpea is traditionally cultivated in the North and Northeast regions of Brazil, where its consumption is also higher than in other regions of the country. The species presents great variation in terms of grain integument and there are regional preferences regarding this characteristic. With storage, several cultivars show darkening of the grains, a phenomenon that reduces the quality of the product and is associated with the chemical composition and enzymatic activity, as well as the storage conditions to which the seeds are submitted. The objective of this research was to evaluate 15 cowpea genotypes in relation to grain luminosity and enzymatic activity, in order to identify and recommend genotypes with lower browning under ambient storage. To evaluate the darkening, the luminosity (L^*) was adopted, obtained through a colorimeter, by the method of excluded specular reflection. This parameter was

associated with the content of total extractable polyphenols (POL) and the enzymatic activity of peroxidase (PER) and polyphenoloxidase (PPO), obtained by reading the respective extracts in a microplate spectrophotometer. The design used was completely randomized, in a simple factorial scheme (15 genotypes x 5 periods – 0, 2, 4, 6 and 8 months) with three repetitions. The genotype that darkened the least was 15 (Setentão), which can be recommended for more demanding markets in terms of loss of luminosity over time. The mulatto genotypes showed a greater tendency to darken, while the white tegument did not darken over the evaluated time.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Grain post-harvest. Enzymatic activity.

4.1 Introdução

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma leguminosa de origem africana, que apresenta grande importância socioeconômica em diversas regiões secas tropicais e subtropicais do planeta (LATTANZIO *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2018). Com alta plasticidade fenotípica (SOUSA *et al.*, 2018), a espécie é amplamente cultivada no Norte e Nordeste do Brasil (DIAS; BERTINI; FREIRE FILHO, 2016), onde é tradicionalmente plantada por agricultores familiares, tendo grande impacto na renda e nutrição de milhares de famílias (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). O estado do Ceará é o maior produtor do país (EMBRAPA, 2020) e, na preferência regional dos consumidores, se destacam os genótipos de grãos mulatos e lisos (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

A coloração do tegumento dos grãos do feijão está entre os principais atributos sensoriais que definem sua qualidade culinária, juntamente com a absorção de água e o tempo de cozimento, entre outros (BENTO *et al.*, 2021). Os consumidores costumam associar grãos com tegumentos escurecidos a produtos de baixa qualidade (PEREIRA *et al.*, 2021; REIS *et al.*, 2021) e genótipos já recomendados para o cultivo no Ceará apresentam escurecimento pós-colheita (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). O escurecimento de grãos com o armazenamento é um processo acumulativo e irreversível, e causa, ano após ano, prejuízos relevantes pela perda no valor comercial do feijão (LIMA; TOMÉ; DE ABREU, 2014). Assim, há uma carência por cultivares que atendam às exigências dos consumidores e que não tenham seu valor comercial muito afetado pelo armazenamento.

A velocidade de deterioração dos grãos de feijão depende, principalmente, do ambiente de armazenamento e das sementes em si, o que inclui sua integridade física e sua composição química (REIS *et al.*, 2021), sendo a última muito influenciada pelo genótipo.

Estudos com feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) associam o escurecimento dos grãos as atividades das enzimas peroxidase (PER) e polifenoloxidase (PPO) (BENTO *et al.*, 2021; LIMA; TOMÉ; DE ABREU, 2014; REIS *et al.*, 2021) e há carência de investigações a esse respeito para feijão-caupi. Para avaliar o escurecimento dos grãos, equipamentos como colorímetros podem ser muito úteis, por fornecerem o parâmetro luminosidade, representado por L*. A luminosidade varia do preto ao branco, com valores de 0 a 100, e pode ser utilizada para determinar a “alvura” dos grãos de feijão (REIS *et al.*, 2021).

Assim, tendo em vista a influência genética e da própria coloração inicial do tegumento do grão no seu escurecimento, se objetivou com esse trabalho avaliar 15 genótipos de feijão-caupi com relação à luminosidade dos grãos, à atividade enzimática de PER e PPO e o teor de polifenóis, em diferentes períodos de armazenamento, visando a identificação e recomendação dos genótipos de menor escurecimento.

4.2 Material e métodos

A umidade dos grãos dos diferentes genótipos de feijão foi determinada e padronizada para 12% pelo método de estufa a baixa temperatura (BRASIL, 2009) no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os grãos foram embalados em sacos de polietileno de 20 μ m e selados. Cada embalagem recebeu 500 g de feijão e o armazenamento se deu em condições ambientais ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $55\% \pm 15\%$).

Para analisar o escurecimento dos grãos ao longo do tempo, foram avaliadas as atividades de peroxidase (PER), polifenoloxidase (PFO) e polifenóis extraíveis totais (POL), além da luminosidade dos grãos (L*) nos 15 genótipos descritos na Tabela 4. A luminosidade dos grãos foi obtida pelo método da reflexão especular exclusiva, em colorímetro (ColoQuest XE, HunterLab, Estados Unidos).

Os quatro parâmetros foram avaliados a cada 60 dias, em cinco períodos distintos de armazenamento: tempo 0 (colheita), tempo 1 (2 meses), tempo 2 (4 meses), tempo 3 (6 meses) e tempo 4 (8 meses).

Tabela 4 – Identificação, procedência e subclasse comercial dos genótipos utilizados nos ensaios de armazenamento.

ID	Genótipos	Parentais/Procedência	Subclasse comercial
1	Bico-de-ouro 1-5-11	Seleção de plantas individuais com	SV
2	Bico-de-ouro 1-5-15	teste de progênie, a partir de	SV
3	Bico-de-ouro 1-5-19	plantas coletadas no estado do	SV
4	Bico-de-ouro 1-5-24	Mato Grosso	ML
5	Pingo-de-ouro 1-5-26	Seleção de plantas individuais com	ML
6	Pingo-de-ouro 1-5-4	teste de progênie, a partir de	ML
7	Pingo-de-ouro 1-5- 5	plantas coletadas na região	ML
8	Pingo-de-ouro 1-5-7	semiárida do Piauí	ML
9	Pingo-de-ouro 1-5-8		ML
10	Pingo-de-ouro 1-5-10		ML
11	Pingo-de-ouro 1-5-11		ML
12	Pingo-de-ouro 1-5-14		ML
13	BRS Tumucumaque	TE96-282-22G x IT87D-611-3	BR
14	BRS Imponente	MNC00-553D-8-1-2-3 x MNC01-626F-11-1	BC
15	Setentão	Sempre Verde x TVu 59	SV

Fonte: elaborada pelo autor.

BC: Brancão; BR: Branco; ML: Mulato; SV: Sempre-verde

4.2.1 Peroxidase (PER)

Para a obtenção dos extratos, os grãos de feijão foram triturados em moedor de café elétrico (Di grano, Cadence, Brasil), até a obtenção de um pó fino. Para cada uma das três repetições, foram utilizados 3 g dessa farinha. Para o extrato enzimático (PER e PPO), foram adicionados 25 mL de tampão fosfato de sódio 0,1M, pH 7,0 às farinhas. As misturas foram homogeneizadas e colocadas em repouso a 4 °C por 30 minutos. Em seguida, foram centrifugadas a 12000 g por 20 minutos. O sobrenadante foi recolhido e armazenado em freezer a -20 °C.

Para a análise da atividade da peroxidase, a 0,6 mL do extrato enzimático foram adicionados 1,1 mL de tampão fosfato citrato contendo 1% de guaiacol e 0,1 mL de peróxido de hidrogênio 3%. A mistura foi incubada por 5 minutos em banho-maria a 30 °C e, posteriormente, a reação foi parada com 0,2 mL de bissulfito de sódio 30%. A leitura foi realizada em espectrofotômetro de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos) a 470 nm.

4.2.2 Polifenoloxidase (PPO)

Para a atividade da polifenoloxidase, a 0,2 mL do extrato enzimático foram adicionados 1,25 mL de tampão fosfato contendo catecol. A mistura foi incubada por 30 minutos em banho-maria a 30 °C e, posteriormente, a reação foi parada com 0,54 mL de ácido perclórico. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 395 nm. Para cada extrato foi realizada a quantificação de proteínas pelo método Bradford (1976).

4.2.3 Polifenóis extraíveis totais (POL)

O extrato de polifenóis extraíveis totais foi preparado adicionando-se inicialmente a 0,3 g de farinha 1,25 mL de metanol a 50%. As misturas foram então homogeneizadas e colocadas em repouso no escuro por 1 hora. Procedeu-se à centrifugação a 15000 g por 15 minutos e, em seguida, filtraram-se os sobrenadantes, que foram reservados. Aos precipitados foram adicionados 1,25 mL de acetona a 70% e as misturas foram novamente levadas a repouso no escuro por 1 hora. Posteriormente, as misturas foram centrifugadas por 15 minutos a 15000 g e novamente filtradas. Os sobrenadantes das duas centrifugações foram unidos e armazenados em freezer.

Para a determinação dos polifenóis totais, utilizou-se o método de Folin-Ciocalteu (OBANDA; OWUO; TAYLOR, 1997). A 250 µL do extrato foram adicionados 250 µL do reagente Folin-Ciocalteu (1:3), 500 µL de carbonato de sódio anidro (20%) e 500 µL de água destilada, nessa ordem. Os tubos foram homogeneizados e as leituras realizadas a 700 nm, após 30 minutos de reação. O conteúdo de polifenóis foi calculado a partir de uma curva padrão de ácido gálico (0-50 µg).

4.2.4 Análise dos dados

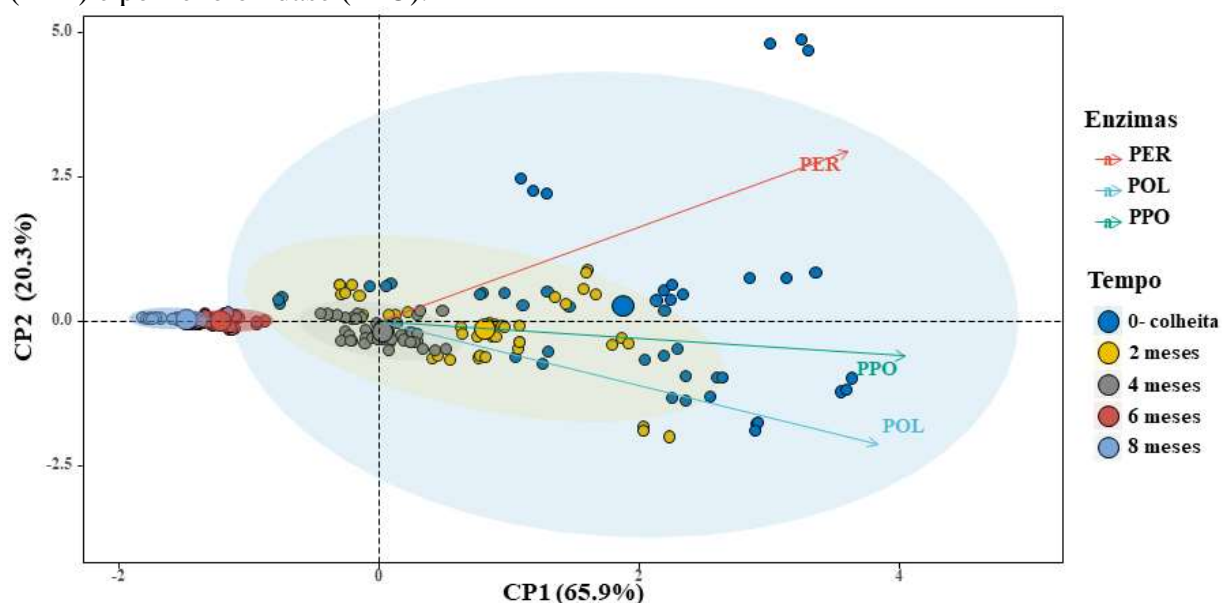
Na análise de escurecimento, se realizou o teste de normalidade dos dados, que foram então submetidos à análise de variância. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial simples (15 genótipos x 5 tempos de armazenamento). Posteriormente, realizou-se o teste de comparação de médias por Scott e Knott ($P < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa computacional GENES (CRUZ,

2013). Também foi realizada a análise de componentes principais (PCA) para as atividades de peroxidase (PER), polifenoloxidase (PFO) e polifenóis extraíveis totais (POL), se utilizando o *software* R (R CORE TEAM, 2017).

4.3 Resultados e discussão

A análise de componentes principais (PCA) foi eficiente para apresentar, de forma global, a influência do tempo de armazenamento sobre as variáveis PPO, PER e POL (Figura 5) em genótipos de feijão-caupi. Observa-se na figura que, para todas as variáveis, houve uma redução de atividade com o armazenamento, pois se nota uma menor distribuição, oposta às variáveis, com o passar do tempo.

Figura 5 – Análise de componentes principais em grãos secos de feijão-caupi sob 8 meses de armazenamento para as variáveis: polifenóis extraíveis totais (POL) e atividades da peroxidase (PER) e polifenoloxidase (PPO).



Fonte: elaborada pelo autor.

Os dois primeiros componentes principais representaram, juntos, 86,2% da variação total dos dados, sendo assim considerados muito representativos. O componente mais representativo (PC1) explicou 65,9% da variação, destacando-se o efeito da variável PPO, enquanto o segundo componente (PC2) explicou 20,3% da variação dos dados, com destaque para o efeito da PER. No gráfico também se pode observar que variáveis próximas estão

correlacionadas de forma positiva, como é o caso da PPO e dos POL. Desta forma, os polifenóis são substratos para a atuação da polifenoloxidase, estando os dois diretamente relacionados.

A análise de variância mostrou diferença significativa para a atividade da polifenoloxidase (PPO), da peroxidase (PER) e dos polifenóis extraíveis totais (POL) entre os genótipos avaliados ($p < 0,01$) e entre os tempos de armazenamento ($p < 0,01$), além de haver interação significativa entre esses fatores ($p < 0,01$).

Desde o início do armazenamento pode-se observar alta atividade das enzimas PPO e PER e elevados teores de POL (Tabela 5). Isso corrobora com Lima, Tomé e De Abreu (2014), que citam que o escurecimento dos grãos se inicia desde sua colheita. O comportamento geral, ao longo do tempo, foi de queda dessas variáveis, bem como da luminosidade, para a maior parte dos genótipos.

Tabela 5 – Polifenoloxidase, peroxidase, polifenóis extraíveis totais e luminosidade em genótipos de feijão-caupi durante armazenamento.

G	T	Polifenoloxidase - PPO (UA min ⁻¹ .mg ⁻¹ P.)	Peroxidase - PER (UA min ⁻¹ .mg ⁻¹ P.)	Polifenóis extraíveis totais (POL) (mg Ác. gálico.100 g)	Luminosidade (L*)
1	0	4137,38 ± 182,94 Aa	9674,92 ± 502,95 Ac	4936,91 ± 191,04 Ad	54,60 ± 1,66 Ab
	2	2428,58 ± 101,71 Cd	4464,34 ± 435,87 Bc	4693,43 ± 170,71 Ac	50,78 ± 1,18 Bb
	4	2879,09 ± 130,90 Ba	3158,07 ± 148,70 Ca	1145,63 ± 165,85 Be	48,38 ± 1,23 Cb
	6	1633,76 ± 24,62 Da	1246,13 ± 118,63 Da	897,23 ± 22,21 Bc	46,27 ± 1,95 Db
	8	1452,91 ± 10,27 Da	1248,31 ± 59,26 Da	228,29 ± 3,75 Ca	45,70 ± 1,14 Db
2	0	2817,04 ± 107,90 Ae	5192,33 ± 160,55 Ah	2105,52 ± 113,75 Be	54,31 ± 1,99 Ab
	2	2538,78 ± 103,87 Bd	3999,27 ± 279,46 Bd	3920,19 ± 166,78 Ad	48,94 ± 1,80 Bb
	4	2234,51 ± 58,21 Cc	2416,11 ± 129,37 Cb	1251,58 ± 171,18 Ce	46,18 ± 1,96 Cc
	6	1174,84 ± 88,31 Ec	908,79 ± 20,06 Db	1243,50 ± 28,48 Cb	43,36 ± 0,61 Dc
	8	1393,25 ± 124,01 Da	695,28 ± 47,18 Db	116,29 ± 5,60 Da	40,69 ± 1,84 Ec
3	0	3581,82 ± 71,03 Ac	7260,18 ± 579,55 Ae	4716,33 ± 219,51 Ad	53,46 ± 0,38 Ab
	2	2588,80 ± 92,50 Bd	1871,12 ± 42 Bg	3921,15 ± 175,83 Bd	48,08 ± 0,65 Bc
	4	2735,78 ± 131,02 Ba	2062,61 ± 82,82 Bb	972,49 ± 147,75 Cf	46,91 ± 1,90 Bc
	6	1073,75 ± 40,93 Cc	711,40 ± 21,09 Cb	947,43 ± 18,51 Cc	44,56 ± 2,41 Cb
	8	1218,12 ± 78,68 Cb	568,44 ± 27,38 Cb	156,93 ± 8,48 Da	43,10 ± 0,70 Cc
4	0	3366,49 ± 99,75 Bc	7792,88 ± 499,79 Ad	4749,69 ± 248,59 Ad	54,30 ± 1,46 Ab
	2	3629,30 ± 174,55 Aa	2162,37 ± 77,52 Bf	1206,40 ± 26,32 Cg	49,71 ± 1,81 Bb
	4	2552,18 ± 16,54 Cb	1981,35 ± 62,08 Bb	1735,84 ± 160,84 Bd	47,72 ± 1,37 Bb
	6	1164,38 ± 25,43 Dc	909,40 ± 5,11 Cb	972,13 ± 52,56 Cc	44,93 ± 1,43 Cb
	8	1285,80 ± 53,27 Db	477,21 ± 32,54 Db	149,12 ± 6,05 Da	41,62 ± 1,59 Dc

Continua

Tabela 5 – Polifenoloxidase, peroxidase, polifenóis extraíveis totais e luminosidade em genótipos de feijão-caupi durante armazenamento.

Continuação

5	0	3138,07 ± 116,99 Ad	2933,75 ± 415,42 Ak	4705,84 ± 143,52 Ad	52,56 ± 1,39 Ab
	2	2328,97 ± 18,60 Ce	2399,03 ± 180,77 Bf	1180,70 ± 61,32 Cg	47,74 ± 1,58 Bc
	4	2807,34 ± 89,93 Ba	2017,25 ± 85,70 Cb	1644,06 ± 150,38 Bd	45,04 ± 0,87 Cc
	6	1398,88 ± 31,06 Db	958,05 ± 14,58 Db	787,19 ± 10,62 Dc	43,90 ± 1,39 Cc
	8	1329,93 ± 111,77 Da	462,45 ± 53,89 Eb	107,71 ± 3,92 Ea	40,84 ± 1,17 Dc
6	0	2684,52 ± 171,92 Be	4704,76 ± 456,83 Ai	11050,45 ± 523,14 Ab	53,35 ± 2,41 Ab
	2	3057,59 ± 104,01 Ab	2060,24 ± 76,37 Bg	3595,27 ± 191,57 Bd	49,99 ± 1,08 Bb
	4	2232,41 ± 127,06 Cc	1813,87 ± 169,77 Bb	1862,99 ± 122,61 Cd	45,08 ± 1,95 Cc
	6	1329,22 ± 41,27 Dc	1197,19 ± 8,93 Ca	861,51 ± 33,79 Dc	43,94 ± 1,24 Cc
	8	1124,69 ± 13,67 Eb	483,28 ± 34,01 Db	121,11 ± 3,12 Ea	42,90 ± 1,38 Cc
7	0	3929,70 ± 265,11 Ab	6490,59 ± 233,19 Af	11015,11 ± 803,84 Ab	53,35 ± 1,91 Ab
	2	3110,96 ± 7,70 Bb	3239,81 ± 173,02 Be	3885,51 ± 121,11 Bd	49,99 ± 1,02 Bb
	4	2535,01 ± 40,21 Cb	2104,12 ± 80,86 Cb	2742,60 ± 176,71 Cb	45,27 ± 1,47 Cc
	6	1243,59 ± 45,22 Dc	1079,81 ± 19,86 Db	753,26 ± 49,82 Dc	43,44 ± 1,92 Cc
	8	1237,47 ± 123,44 Db	479,78 ± 87,51 Eb	153,19 ± 10,91 Ea	39,76 ± 1,62 Dc
8	0	2338,98 ± 131,68 Bg	6677,73 ± 403,16 Af	10533,86 ± 803,11 Ac	52,90 ± 0,81 Ab
	2	3025,49 ± 106,70 Ab	6256,55 ± 434,22 Bb	3714,91 ± 143,59 Bd	48,21 ± 0,82 Bc
	4	1983,27 ± 24,93 Cd	1654,97 ± 83,78 Cb	2733,18 ± 161,46 Cb	46,60 ± 2,15 Bc
	6	1021,93 ± 84,84 Dc	816,50 ± 6,37 Db	822,03 ± 101,16 Dc	43,34 ± 2,28 Cc
	8	1165,28 ± 66,06 Db	458,49 ± 10,56 Eb	148,36 ± 6,45 Ea	41,48 ± 2,47 Cc
9	0	2733,91 ± 128,20 Ae	4745,85 ± 110,50 Ai	13518,26 ± 429,57 Aa	53,66 ± 2,04 Ab
	2	2703,22 ± 15,05 Ac	4116,78 ± 190,25 Bd	3869,48 ± 211,44 Bd	47,56 ± 0,56 Bc
	4	2287,67 ± 111,06 Bc	1985,76 ± 145,44 Cb	2476,44 ± 147,96 Cc	45,64 ± 1,16 Cc
	6	1253,54 ± 23,39 Cc	1503,21 ± 71,28 Da	1115,95 ± 70,37 Db	44,90 ± 0,88 Cb
	8	949,10 ± 30,04 Dc	421,61 ± 2,71 Eb	151,11 ± 6,43 Ea	41,86 ± 2,61 Dc
10	0	2539,20 ± 271,16 Bf	5944,66 ± 99,33 Bg	10338,03 ± 614,23 Ac	53,28 ± 1,28 Ab
	2	2812,08 ± 58,96 Ac	7694,27 ± 531,45 Aa	3827,15 ± 183,07 Bd	46,68 ± 2,07 Bc
	4	2175,59 ± 123,50 Cc	1860,64 ± 131,91 Cb	3167,31 ± 431,40 Ca	45,89 ± 0,98 Bc
	6	1287,74 ± 20,26 Dc	1527,72 ± 21,78 Ca	1034,97 ± 46,74 Dc	45,15 ± 1,33 Bb
	8	839,45 ± 41,46 Ec	366,43 ± 15,47 Db	160,61 ± 3,32 Ea	41,50 ± 0,86 Cc
11	0	1865,46 ± 201,27 Bh	11694,79 ± 383,83 Ab	1877,87 ± 53,32 Ce	54,74 ± 1,62 Ab
	2	2227,58 ± 82,51 Ae	6369,34 ± 179,90 Bb	8612,68 ± 359,77 Ab	49,54 ± 1,28 Bb
	4	2249,96 ± 99,15 Ac	1995,55 ± 29,00 Cb	2725,35 ± 16,06 Bb	46,67 ± 1,37 Cc
	6	1200,71 ± 45,41 Cc	1079,11 ± 39,74 Db	1542,09 ± 6,19 Ca	45,61 ± 0,95 Cb
	8	875,85 ± 32,13 Dc	328,62 ± 5,72 Eb	192,18 ± 13,00 Da	42,55 ± 1,80 Dc

Continua

Tabela 5 – Polifenoloxidase, peroxidase, polifenóis extraíveis totais e luminosidade em genótipos de feijão-caupi durante armazenamento.

Continuação

12	0	2342,26 ± 251,83 Bg	21874,46 ± 353,12 Aa	1562,1 ± 146,22 Bf	52,4 ± 1,06 Ab
	2	2265,83 ± 72,92 Be	3319,33 ± 158,67 Be	2181,80 ± 100,39 Ae	47,09 ± 1,31 Bc
	4	2735,46 ± 60,09 Aa	1998,86 ± 225,65 Cb	2216,81 ± 197,59 Ac	45,95 ± 0,85 Bc
	6	1131,09 ± 25,37 Cc	951,93 ± 4,18 Db	930,45 ± 87,02 Cc	41,80 ± 2,38 Cc
	8	1263,28 ± 149,98 Cb	453,80 ± 37,75 Eb	124,91 ± 8,76 Da	41,67 ± 1,74 Cc
13	0	2210,72 ± 101,01 Ag	4327,86 ± 155,84 Aj	907,19 ± 37,55 Bg	62,62 ± 1,14 Aa
	2	1599,99 ± 58,13 Bf	4417,54 ± 43,81 Ac	1629,31 ± 29,26 Af	63,08 ± 0,64 Aa
	4	2380,06 ± 43,07 Ac	1935,85 ± 19,18 Bb	309,07 ± 33,04 Cg	64,24 ± 0,66 Aa
	6	1295,31 ± 24,08 Cc	1006,17 ± 54,12 Cb	239,89 ± 8,41 Cd	64,01 ± 1,75 Aa
	8	1540,03 ± 18,38 Ba	603,80 ± 31,09 Db	59,38 ± 4,85 Ca	63,40 ± 1,15 Aa
14	0	1505,76 ± 30,15 Bi	2721,45 ± 188,75 Bk	926,78 ± 31,47 Bg	63,75 ± 1,46 Aa
	2	1552,58 ± 94,53 Bf	4166,29 ± 51,99 Ad	2228,86 ± 29,85 Ae	64,38 ± 1,51 Aa
	4	2479,13 ± 230,85 Ab	1979,31 ± 54,38 Cb	472,53 ± 5,70 Cg	64,10 ± 1,10 Aa
	6	1455,28 ± 18,05 Bb	1017,28 ± 143,11 Db	320,32 ± 11,30 Cd	64,40 ± 1,41 Aa
	8	1391,32 ± 88,51 Ba	508,55 ± 29,33 Eb	73,26 ± 2,35 Ca	63,94 ± 2,29 Aa
15	0	3457,93 ± 245,50 Ac	5086,63 ± 423,84 Ah	2040,62 ± 132,31 Ce	51,19 ± 0,55 Ab
	2	3193,70 ± 166,92 Bb	1969,73 ± 98,12 Bg	10011,50 ± 439,92 Aa	49,69 ± 0,95 Ab
	4	2886,72 ± 111,45 Ca	1735,06 ± 51,94 Bb	2678,10 ± 88,75 Bb	48,66 ± 1,81 Bb
	6	1177,85 ± 14,32 Ec	1047,25 ± 80,91 Cb	1667,02 ± 53,90 Da	47,17 ± 2,13 Bb
	8	1406,45 ± 151,64 Da	542,41 ± 33,30 Db	170,39 ± 6,26 Ea	47,59 ± 2,68 Bb

Fonte: elaborada pelo autor.

G: Genótipos. T: Tempo (meses).

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para cada cultivar e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si em cada tempo de armazenamento pelo Teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

O genótipo com menor atividade de PPO foi o 13 (BRS Tumucumaque), de coloração de tegumento branca, que não apresentou escurecimento significativo ao longo do armazenamento e que mostrou os menores valores de POL desde a colheita, o que expressa a relação direta entre o substrato e a atividade da enzima. As PPOs mediam a polimerização dos compostos fenólicos, que são abundantes no tegumento dos grãos de feijão, e isso contribui para sua lignificação e consequente endurecimento (BENTO *et al.*, 2021).

Com relação à PER, esses resultados são semelhantes aos encontrados por Lima, Tomé e De Abreu (2014) em feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*). Os autores também observaram uma queda mais acentuada da atividade da enzima em embalagens a vácuo e acreditam que o oxigênio pode acelerar a oxidação enzimática e o consequente escurecimento

de grãos, indicando que atmosferas controladas podem reduzir o problema. Com menor disponibilidade de oxigênio, a atividade da PER é reduzida, bem como a oxidação dos fenólicos, o que pode estar relacionado com a queda da atividade da enzima ao longo do tempo, conforme diminui o oxigênio disponível na embalagem. No entanto, observa-se que não há uma pausa na atividade de PER e, segundo Severini *et al.* (2016), a permanência dessa atividade, embora reduzida com o tempo, pressupõe uma redução na luminosidade (L^*).

A oxidação dos POL produz lignina, promovendo o processo de lignificação dos grãos, que pode ser vinculado à atividade da peroxidase (HINCKS; STANLEY, 1986). Isso pode ter impacto na textura e no tempo de cozimento dos grãos, além do escurecimento. É importante ressaltar que o teor de fenólicos em feijão-caupi se concentra de 5 a 10 vezes mais na casca dos grãos que na semente propriamente dita (JAYATHILAKE *et al.*, 2018), o que contribui para a perda da luminosidade ser tão visível no armazenamento, já que ocorre principalmente na parte mais externa.

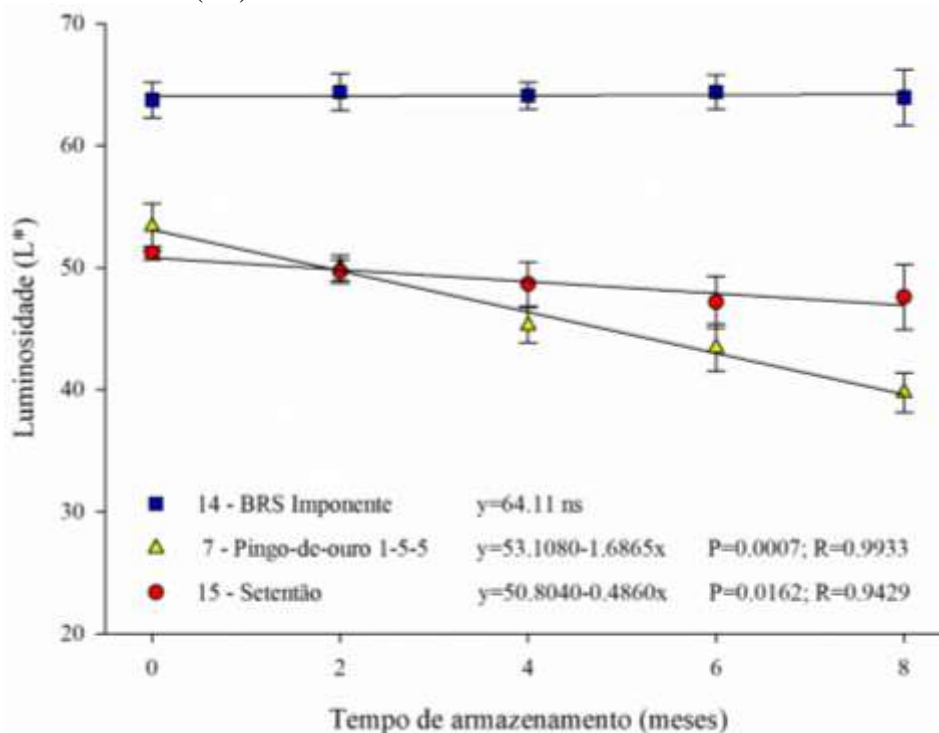
No presente estudo observa-se que esses compostos são reduzidos ao longo do tempo de armazenamento nos diferentes genótipos de *Vigna unguiculata* avaliados, o que indica sua oxidação. Lindemann *et al.* (2019) também verificaram uma redução dos polifenóis em feijão-caupi com o armazenamento, mesmo com atmosfera modificada por nitrogênio, e Hincks e Stanley (1986) observaram essa redução quando do armazenamento de *Phaseolus vulgaris*. Nasar-Abbas *et al.* (2008) citam que essas reações são comuns nas leguminosas e os autores observaram em *Vicia faba* uma forte ligação entre a transformação dos POL e a degradação da cor dos grãos, também relatando redução da luminosidade com o tempo. Lattanzio *et al.* (2005) relataram uma correlação positiva entre a baixa luminosidade de grãos de feijão-caupi e a presença de taninos, o que pode colaborar para uma seleção mútua para esses caracteres nos programas de melhoramento da cultura. Dessa forma, a seleção para um caráter de interesse pode contribuir para a melhoria de outro (GERRANO *et al.*, 2020).

A luminosidade (L^*) dos grãos apresentou decréscimo significativo ($p < 0,01$) para a maioria dos genótipos avaliados já a partir de dois meses de armazenamento. Apenas os genótipos de tegumento branco (13 e 14) não reduziram a luminosidade com o tempo. Eles exibiram, desde o início do armazenamento, valores inferiores de POL e das atividades de PER e PPO, quando comparados aos demais genótipos. Lima, Tomé e De Abreu (2014) citam que quanto menor a luminosidade, maior o escurecimento e o endurecimento dos grãos, assim, esse é um importante parâmetro para avaliar a qualidade de grãos armazenados. Bento *et al.*, (2021)

citam que o preço do feijão chega a ser estimado pela coloração do tegumento, onde grãos mais escuros obtêm menores valores de mercado.

A Figura 6 apresenta três genótipos de comportamentos distintos quanto à luminosidade ao longo do armazenamento. O genótipo 7 (Pingo-de-ouro 1-5-5) foi o que mais escureceu, com redução de 25,4% da luminosidade. O genótipo 15 (Setentão) foi o que, depois dos genótipos de tegumento branco, menos escureceu (redução de 7%). Ele pertence ao grupo comercial Sempre-verde, que assim como o grupo Mulato, é bem aceito no Ceará (ARAÚJO *et al.*, 2019). O genótipo 14 (BRS-Imponente), de tegumento branco, não apresentou escurecimento significativo ao longo do armazenamento, o que representa uma vantagem para essa classe comercial, que, no entanto, não é muito apreciada em algumas regiões do Brasil. Ao avaliar a luminosidade de feijão comum, Reis *et al.* (2021) também verificaram declínio ao longo do tempo, em especial para os grãos de tegumento marrom (mulatos), com valores similares aos encontrados nessa pesquisa. Os autores observaram vantagem para a classe comercial de grãos vermelhos, que pouco escureceu ao longo do armazenamento, bem como a classe comercial preta.

Figura 6 – Análise de regressão em genótipos contrastantes para luminosidade (L^*).



Fonte: elaborada pelo autor.

Nasar-Abbas *et al.* (2008) relatam que o oxigênio ambiental é o principal fator para a transformação oxidativa de fenólicos, assim, diferentes alternativas vêm sendo avaliadas no

armazenamento de grãos sensíveis, como as leguminosas, de uma forma geral. A utilização de embalagens a vácuo (LIMA; TOMÉ; DE ABREU, 2014) e atmosferas modificadas por nitrogênio (NASAR-ABBAS *et al.*, 2008) estão entre as principais técnicas já testadas em fabáceas. Como as variações dos parâmetros de cor estão associados aos diferentes genótipos (BENTO *et al.*, 2021), essas alternativas também devem ser avaliadas nas principais cultivares de feijão-caupi. Além disso, como os pequenos agricultores não possuem, na maior parte das vezes, recursos para realizar um armazenamento controlado dos grãos (BENTO *et al.*, 2021), a inclusão dessa variável nos programas de melhoramento genético na cultura também é fundamental. Características tão relevantes para o mercado como o escurecimento de grãos devem ser levadas em consideração para as novas cultivares a serem lançadas tanto quanto tolerância a estresses e mesmo o rendimento (REIS *et al.*, 2021).

Para feijão comum também é relatada a influência das condições climáticas no período da colheita de grãos e seu escurecimento, onde autores citam a ocorrência de grãos mais escuros quando há maiores temperaturas e umidade (PEREIRA *et al.*, 2021; REIS *et al.*, 2021). Nesse sentido, boas práticas em campo e o planejamento da safra agrícola podem contribuir para reduzir a perda da luminosidade dos grãos em feijão caupi e a influência desses efeitos deve ser testada para a espécie.

4.4 Conclusões

As atividades de PER e PPO mostram-se altas desde os primeiros meses de avaliação, contribuindo para o escurecimento do tegumento e endurecimento dos mesmos logo após a colheita.

Os genótipos mulatos apresentam maior tendência de escurecimento, enquanto os de tegumento branco não escurecem ao longo do tempo avaliado.

O genótipo Setentão apresentou menor redução da luminosidade e pode ser recomendado para mercados mais exigentes devido ao menor escurecimento apresentado ao longo do tempo.

4.5 Referências

ARAÚJO, L. B. R. *et al.* Agronomic potential and genetic diversity of landraces of cowpea of the state of Cear. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 698–708, 1 jul. 2019.

BENTO, J. A. C. *et al.* Factors affecting the cooking quality of stored carioca beans (*Phaseolus vulgaris*). **Italian Journal of Food Science**, v. 33, n. 4, p. 43–56, 11 out. 2021.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248–254, 1976.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília, DF: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.

DIAS, F. T. C.; BERTINI, C. H. C. DE M.; FREIRE FILHO, F. R. Genetic effects and potential parents in cowpea. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 315–320, 2016.

EMBRAPA. **DADOS DE CONJUNTURA DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) E CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) CEARÁ***. (1985 - 2020).

Disponível em:

http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/docs/feijao/dadosConjunturais_feijao_ceara.htm
. Acesso em: 19 fev. 2022.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-Caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1. ed. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011.

GERRANO, A. S. *et al.* Genotype and genotype × environment interaction effects on the grain yield performance of cowpea genotypes in dryland farming system in South Africa. **Euphytica**, v. 216, n. 5, p. 1–11, 1 maio 2020.

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

JAYATHILAKE, C. *et al.* Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793–4806, 1 out. 2018.

LATTANZIO, V. *et al.* Seed coat tannins and bruchid resistance in stored cowpea seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 5, p. 839–846, 15 abr. 2005.

LIMA, R. A. Z.; TOMÉ, L. M.; DE ABREU, C. M. P. Embalagem a vácuo: Efeito no escurecimento e endurecimento do feijão durante o armazenamento. **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p. 1664–1670, 2014.

LINDEMANN, I. DA S. *et al.* Cowpea storage under nitrogen-modified atmosphere at different temperatures: Impact on grain structure, cooking quality, in vitro starch digestibility, and phenolic extractability. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 3, p. 1–9, 1 mar. 2019.

NASAR-ABBAS, S. M. *et al.* Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 2008, p. 113–118, 2008.

OBANDA, M.; OWUO, P. O.; TAYLOR, S. J. Flavanol Composition and Caffeine Content of Green Leaf as Quality Potential Indicators of Kenyan Black Teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, n. 2, p. 209–215, 1997.

PEREIRA, H. S. *et al.* Selection of carioca common bean lines with slow darkening. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna R Foundation for Statistical Computing, 2017.

REIS, R. L. M. *et al.* High temperature increases cooking time and seed darkening of common beans. **Genetics and Molecular Research**, v. 20, n. 2, 2021.

SEVERINI, C. *et al.* Influence of different blanching methods on colour, ascorbic acid and phenolics content of broccoli. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 501–510, 1 jan. 2016.

SILVA, M. B. O. *et al.* Agronomic performance of cowpea genotypes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1059–1066, 2018.

SOUSA, M. B. E. *et al.* Genotype By Environment Interaction in Cowpea Lines Using GGE Biplot Method. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 64–71, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os genótipos avaliados, alguns apresentaram destaque quanto ao rendimento de grãos para condições específicas, mostrando adaptabilidade aos regimes de sequeiro ou irrigado. Em sequeiro, os genótipos 1 (Bico-de-ouro 1-5-11), 2 (Bico-de-ouro 1-5-15), 7 (Pingo-de-ouro 1-5- 5) e 9 (Pingo-de-ouro 1-5-8) apresentaram melhor desempenho, enquanto, sob cultivo irrigado, os genótipos 1 (Bico-de-ouro 1-5-11), 4 (Bico-de-ouro 1-5-24), 8 (Pingo-de-ouro 1-5-7) e 10 (Pingo-de-ouro 1-5-10) foram os mais adaptados. O genótipo 9 (Pingo-de-ouro 1-5-8) foi o que apresentou maior estabilidade, podendo ser recomendado para os dois regimes.

Com relação à qualidade dos grãos sob armazenamento, observou-se que as atividades das enzimas peroxidase (PER) e polifenoloxidase (PPO) são altas desde a colheita, o que indica que o escurecimento e endurecimento dos grãos avaliados já se inicia nesse período. Os genótipos brancos não escureceram ao longo do tempo, enquanto os genótipos mulatos foram os que apresentaram maior escurecimento. O genótipo 15 (Setentão), da classe comercial cores, tipo sempre-verde, depois dos grãos brancos foi o que menos escureceu, seguido da linhagem 1 (Bico-de-ouro 1-5-11), da mesma classe. Desta forma, estes podem ser indicados para os produtores, bem como serem utilizados como parentais nos programas de melhoramento genético que têm a finalidade de obter cultivares com menor escurecimento ao longo do armazenamento.

REFERÊNCIAS

- ABIRIGA, F. *et al.* Harnessing genotype-by-environment interaction to determine adaptability of advanced cowpea lines to multiple environments in Uganda. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 12, n. 2, p. 131–145, 2020.
- AIOSA, M. L. *et al.* Cowpeas as a summer cover crop for forage rye. **Agrosyst Geosci Environ**, v. 3, n. e20057, p. 1–9, 2020.
- ALMEIDA, W. S. DE *et al.* Adaptability and stability of grain yield in cowpea under different biometrics. **Rev. Bras. Agrobiologia**, v. 18, n. 2–4, p. 221–228, 2012.
- ALVES, S. M. *et al.* Adaptability, stability, and agronomic performance of cowpea lines in Mato Grosso, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 1–7, 2020.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in northern Italy. *J. Genet. Breed.*, 46: 269-278. **J. Genet. & Breed**, v. 46, n. January 1992, p. 269–296, 1992.
- ARAMÉNDIZ-TATIS, H.; CARDONA-AYALA, C.; ESPITIA-CAMACHO, M. Stability and phenotypic adaptability by AMMI analysis in cowpea beans (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)1. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 52, n. 3, p. 1–8, 2021.
- ARAÚJO, L. B. R. *et al.* Agronomic potential and genetic diversity of landraces of cowpea of the state of Ceará. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 698–708, 1 jul. 2019.
- BARRETO, P. D. Recursos genéticos e programa de melhoramento de feijão-de-corda no Ceará: avanços e perspectivas. In: QUEIROZ, M. A. DE; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Eds.). **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**. 1. ed. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, 1999. v. 1p. 231–257.
- BENTO, J. A. C. *et al.* Aging indicators for stored carioca beans. **Food Research International**, v. 134, n. 2020, p. 1–11, 1 ago. 2020.
- BENTO, J. A. C. *et al.* Factors affecting the cooking quality of stored carioca beans (*Phaseolus vulgaris*). **Italian Journal of Food Science**, v. 33, n. 4, p. 43–56, 11 out. 2021.
- BEVILAQUA, G. A. P. *et al.* **Manejo de sistemas de produção de sementes e forragem de feijão-miúdo para a agricultura familiar**. 1. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**. 7. ed. Viçosa (MG): Editora UFV, 2017. v. 1
- BOUKAR, O. *et al.* Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. **Plant Breeding**, v. 138, n. 4, p. 415–424, 2019.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248–254, 1976.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília, DF: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009.

CARVALHO, L. C. B. *et al.* Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 12, p. 990–1000, 2016.

CARVALHO, L. C. B. *et al.* Genotype x environment interaction in cowpea by mixed models. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 5, p. 872–878, 2017.

CASTRO, C. N. DE. **A agricultura no nordeste brasileiro: Oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: IPEA, 2012.

CEARÁ. SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Projeto Hora de Plantar - Manual Operacional 2020/2021**. 34. ed. Fortaleza, CE: Governo do Estado do Ceará, 2021.

CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da safra brasileira 2021/2022 9º Levantamento**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 22 mai. 2022.

CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa - MG: Editora UFV, 2014.

DA CRUZ, D. P. *et al.* Analysis of the phenotypic adaptability and stability of strains of cowpea through the GGE Biplot approach. **Euphytica**, v. 216, n. 10, 2020.

DA CRUZ, D. P. *et al.* Combined selection for adaptability, genotypic stability and cowpea yield from mixed models. **Ciencia Rural**, v. 51, n. 9, 2021.

DE ABREU, H. K. A. *et al.* Adaptability and stability of cowpea genotypes via REML/BLUP and gge biplot. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 4, p. 1071–1082, 2019.

DE MELO, L. F. *et al.* GGE biplot analysis to recommend cowpea cultivars for green grain production. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 321–331, 2020.

DIAS, F. T. C.; BERTINI, C. H. C. DE M.; FREIRE FILHO, F. R. Genetic effects and potential parents in cowpea. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 315–320, 2016.

ĐZDEMIR, O.; ÜNLÜKARA, A.; KURUNC, A. Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to salinity and irrigation regimes. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 37, n. 3, p. 271–280, set. 2009.

EMBRAPA. **Marcadores Moleculares**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012.

EMBRAPA. **DADOS DE CONJUNTURA DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO COMUM** (*Phaseolus vulgaris* L.) **E CAUPI** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) **CEARÁ***. (1985 - 2020).

Disponível em:

http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/docs/feijao/dadosConjunturais_feijao_ceara.htm
. Acesso em: 19 fev. 2022.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivares Ricas em Ferro e Zinco**. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/878605/1/FD0031.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2022.

EVANGELISTA, J. S. P. C. *et al.* Soybean productivity, stability, and adaptability through mixed model methodology. **Ciencia Rural**, v. 51, n. 2, p. 1–7, 2021.

FARIAS, H. F. L. DE *et al.* Bean color and hardness modeling as a function of storage conditions. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e725974414, 7 jun. 2020.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. DE; WATT, E. E. (Eds.). **O caupi no Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa/IITA, 1988. v. 1p. 26–46.

FREIRE FILHO, F. R. *et al.* **Feijão-Caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1. ed. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011.

FUNCEME. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Disponível em:

<http://www3.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario?data=hoje>.
Acesso em: 25 mar. 2021.

GERRANO, A. S. *et al.* Genotype and genotype × environment interaction effects on the grain yield performance of cowpea genotypes in dryland farming system in South Africa. **Euphytica**, v. 216, n. 5, p. 1–11, 1 maio 2020.

HERNITER, I. A.; MUÑOZ-AMATRIÁIN, M.; CLOSE, T. J. Genetic, textual, and archeological evidence of the historical global spread of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). **Legume Science**, v. 2, n. 4, p. 1–10, 2020.

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

HORN, L. N.; SHIMELIS, H. Production constraints and breeding approaches for cowpea improvement for drought prone agro-ecologies in Sub-Saharan Africa. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 1, p. 83–91, 1 jun. 2020.

IQBAL, M. A. *et al.* Forage productivity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cultivars improves by optimization of spatial arrangements. **Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias**, v. 9, n. 2, p. 203–219, 2018.

JAYATHILAKE, C. *et al.* Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793–4806, 1 out. 2018.

KAMARA, A. Y.; OMOIGUI, L. O.; KAMAI, N. Improving cultivation of cowpea in West Africa. In: SIVASANKA, S. *et al.* (Eds.). **Achieving sustainable cultivation of grain legumes**. 1. ed. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2018. v. 2p. 18.

KEBEDE, E.; BEKEKO, Z. Expounding the production and importance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 6, n. 1, 2020.

KULKARNI, K. P. *et al.* Harnessing the potential of forage legumes, alfalfa, soybean, and cowpea for sustainable agriculture and global food security. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. September, p. 1–17, 2018.

LATTANZIO, V. *et al.* Seed coat tannins and bruchid resistance in stored cowpea seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 5, p. 839–846, 15 abr. 2005.

LIMA, R. A. Z.; TOMÉ, L. M.; DE ABREU, C. M. P. Embalagem a vácuo: Efeito no escurecimento e endurecimento do feijão durante o armazenamento. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 9, p. 1664–1670, 2014.

LINDEMANN, I. D. S. *et al.* Foliar Desiccators Glyphosate, Carfentrazone, and Paraquat Affect the Technological and Chemical Properties of Cowpea Grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 32, p. 6771–6778, 2017.

LINDEMANN, I. DA S. *et al.* Cowpea storage under nitrogen-modified atmosphere at different temperatures: Impact on grain structure, cooking quality, in vitro starch digestibility, and phenolic extractability. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 3, p. 1–9, 1 mar. 2019.

LINDEMANN, I. DA S. *et al.* Cowpea storage under nitrogen-modified atmosphere at different temperatures: Impact on grain structure, cooking quality, in vitro starch digestibility, and phenolic extractability. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 3, p. 1–9, 2020.

MELO, F. DE B. *et al.* Critical levels and sufficiency ranges for leaf nutrient diagnosis in cowpea grown in the Northeast region of Brazil. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 51, n. 4, p. 1–9, 2020.

NASAR-ABBAS, S. M. *et al.* Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 2008, p. 113–118, 2008.

OBANDA, M.; OWUO, P. O.; TAYLOR, S. J. Flavanol Composition and Caffeine Content of Green Leaf as Quality Potential Indicators of Kenyan Black Teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, n. 2, p. 209–215, 1997.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C. metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783–789, 2020.

OMOMOWO, O. I.; BABALOLA, O. OLURANTI. Constraints and prospects of improving cowpea productivity to ensure food, nutritional security and environmental sustainability. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 751731, 2021.

OWUSU, E. Y. *et al.* Genotype × environment interactions of yield of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) inbred lines in the Guinea and Sudan Savanna ecologies of Ghana. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 23, n. 5, p. 453–460, 1 dez. 2020.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B. *et al.* (Eds.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: Sayce Publishing, 1997. p. 1–12.

PEREIRA, H. S. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 29–37, 2009.

PEREIRA, H. S. *et al.* Selection of carioca common bean lines with slow darkening. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna R Foundation for Statistical Computing, , 2017.

REIS, R. L. M. *et al.* High temperature increases cooking time and seed darkening of common beans. **Genetics and Molecular Research**, v. 20, n. 2, 2021.

RESENDE, M. D. V. DE. **Genética biométrica e estatístico no melhoramento de plantas perenes**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos da interação genótipo x ambiente no ciclo e na coloração do tegumento dos grãos do feijoeiro comum. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 373–380, 2004.

SEVERINI, C. *et al.* Influence of different blanching methods on colour, ascorbic acid and phenolics content of broccoli. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 501–510, 1 jan. 2016.

SILVA, G. O. DA *et al.* Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 494–501, 2011.

SILVA, K. J. D. E; ROCHA, M. DE M.; MENEZES JÚNIOR, J. Â. N. DE. A cultura do feijão-caupi no Brasil. In: BASTOS, E. A. (Ed.). 1. ed. Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte, 2016.

SILVA, M. B. O. *et al.* Agronomic performance of cowpea genotypes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1059–1066, 2018.

SILVA, R. G. *et al.* Permeability to water and viability in heteromorphic color seeds of *bowdichia virgilioides* kunth. **Revista Arvore**, v. 45, 2021.

SORATTO, R. P. *et al.* Agronomic optimal plant density for semiupright cowpea as a second crop in southeastern Brazil. **Crop Science**, v. 60, p. 2695–2708, 2020.

SOUSA, M. B. E *et al.* Adaptability and yield stability of cowpea elite lines of semi-prostrate growth habit in the Cerrado biome. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 5, p. 832–839, 2017.

SOUSA, M. B. E *et al.* Genotype By Environment Interaction in Cowpea Lines Using GGE Biplot Method. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 64–71, 2018.

TOMAZ, F. L. DE S. *et al.* Indication of cowpea cultivars for the production of dry grain in the. **Revista Ciencia Agronômica**, v. 53, p. 1–12, 2022.

WENG, Y. *et al.* Evaluation of seed protein content in USDA cowpea germplasm. **HortScience**, v. 54, n. 5, p. 814–817, 2019.

YAN, W. *et al.* Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, v. 40, n. 3, p. 597–605, 2000.

YAN, W. *et al.* GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643–655, 2007.

YAN, W.; TINKER, N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 3, p. 623–645, 2006.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE SOLO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

Tabela 6 – Resumo da análise de solo dos locais de condução dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU).

Município	Teor de nutrientes		pH
	P assimilável (mg/kg)	K⁺ (cmol_c/kg)	
Crato	59	0,15	6,9
Pentecoste	3	0,11	5,7
Crateús	61	0,32	5,9
Madalena	9	0,29	5,4
Bela Cruz	7	0,92	6,2
Limoeiro do Norte	4	2,85	7,4

Fonte: elaborada pelo autor.

**APÊNDICE B – VARIAÇÃO DA LUMINOSIDADE DE GRÃOS DE FEIJÃO-CAUPI
SOB ARMAZENAMENTO**

Tabela 7 – Médias, desvio e variação de luminosidade de grãos de genótipos selecionados de feijão-caupi sob armazenamento.

Gen	Luminosidade (L*)					ΔL^* (%)
	0	2 meses	4 meses	6 meses	8 meses	
1	54,60 ± 1,66 Aa	50,78 ± 1,18 Ba	48,38 ± 1,23 Ca	46,27 ± 1,95 Da	45,70 ± 1,14 Da	-16,3
2	54,31 ± 1,99 Aa	48,94 ± 1,80 Ba	46,18 ± 1,96 Ca	43,36 ± 0,61 Da	40,69 ± 1,84 Eb	-25,8
4	54,30 ± 1,46 Aa	49,71 ± 1,81 Ba	47,72 ± 1,37 Ba	44,93 ± 1,43 Ca	41,62 ± 1,59 Db	-23,35
8	52,90 ± 0,81 Aa	48,21 ± 0,82 Bb	46,60 ± 2,15 Ba	43,34 ± 2,28 Ca	41,48 ± 2,47 Cb	-21,59
9	53,66 ± 2,04 Aa	47,56 ± 0,56 Bb	45,64 ± 1,16 Ca	44,90 ± 0,88 Ca	41,86 ± 2,61 Db	-21,99
10	53,28 ± 1,28 Aa	46,68 ± 2,07 Bb	45,89 ± 0,98 Ba	45,15 ± 1,33 Ba	41,50 ± 0,86 Cb	-22,11

Fonte: elaborada pelo autor.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula horizontalmente e/ou mesma letra minúscula verticalmente não diferem entre si pelo Teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.