



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

**LEANE FIALHO DE MELO**

**ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E ÍNDICE SELETIVO NA**  
**RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE**  
**GRÃOS VERDES NO ESTADO DO CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2018**

LEANE FIALHO DE MELO

ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E ÍNDICE SELETIVO NA RECOMENDAÇÃO  
DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES NO  
ESTADO DO CEARÁ

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

Orientador: Prof. D.Sc Júlio César do Vale Silva.

FORTALEZA

2018

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)

---

- M485a Melo, Leane Fialho de.  
Adaptabilidade, estabilidade e índice seletivo na recomendação de cultivares de feijão-caupi para produção de grãos verdes no estado do Ceará / Leane Fialho de Melo. – 2019.  
54 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Júlio César do Vale Silva.
1. *Vigna unguiculata* L. 2. Interação GxE. 3. GGE biplot. 4. Valor de cultivo e uso. 5. Feijão-verde. I. Título.

CDD 630

---

LEANE FIALHO DE MELO

ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E ÍNDICE SELETIVO NA RECOMENDAÇÃO  
DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES NO  
ESTADO DO CEARÁ

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

Orientador: Prof. D.Sc. Júlio César do Vale Silva.

Aprovado em: 27/07/2018.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. D.Sc. Júlio César do Vale Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará – (UFC)

---

Profa. D.Sc. Cândida Hermínia C. de Magalhães Bertini (Conselheira)  
Universidade Federal do Ceará – (UFC)

---

D.Sc. Dheyne Silva Melo (Conselheiro)  
Embrapa Agroindústria Tropical

---

D.Sc. Francisco das Chagas Vidal Neto (Conselheiro)  
Embrapa Agroindústria Tropical

---

D.Sc. Lucas Nunes da Luz (Conselheiro)  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – (UNILAB)

*Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha  
fortaleza, e nele confiarei.*

À Deus ofereço

Aos meus pais Aureliano (*in memoriam*) e  
Maria Hilda por todo apoio incondicional,  
cuidado e amor. Ao meu amado esposo Lee  
Marx Gomes de Carvalho pelo apoio,  
paciência, amor e incentivo para a obtenção  
desse título.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus por estar presente em minha vida, cuidar de mim e dar força para superar todos os obstáculos.

À minha família, pelo amor, carinho e incentivo. Em especial minha mãe e irmãos, presentes que Deus me deu.

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realização deste trabalho.

À FUNCAP, pela concessão da bolsa e à EMBRAPA Meio Norte pela disponibilidade de sementes e por propiciar recursos financeiros para a realização deste trabalho.

Ao professor Júlio César do Vale e Silva, pela orientação, paciência e ensinamentos.

À professora Cândida Hermínia Magalhães Bertini, por todo apoio na realização deste trabalho.

Ao grupo de trabalho em melhoramento vegetal: Antônio Moreira Neto, Tamiris Pereira, Ingrid Pinheiro, Linda Brenna, Jéssica Soares, Fernanda Carla, Renata Fernandes e Marcelo Pinheiro, por todo apoio e compromisso. Em especial ao Marcelo Pinheiro pelo auxílio na condução dos ensaios, companheirismo e amizade.

Ao senhor Devair por disponibilizar a área para condução do ensaio em Mauriti, e à Celino Campos por auxiliar na condução do ensaio e na coleta de dados.

À professora Edilza Maria por todo apoio durante a condução do ensaio em Crato e à Railany Brito pelo auxílio na coleta de dados.

Ao senhor José Almir e sua esposa Maria Salete por disponibilizar a área para condução do ensaio em Madalena, pelo carinho da família e ajuda durante o beneficiamento.

À Kleiton Chagas pelo apoio técnico na condução do ensaio em Pentecoste.

Enfim, a todos que, direta e/ou indiretamente, deram suporte para a execução deste trabalho, deixo o meu reconhecimento e gratidão.

*“Quando descobrimos que absolutamente nada é definitivo, inclusive a vida, compreendemos a inutilidade do orgulho, a tolice das disputas, a estupidez da ganância, e a incoerência das tolas mágoas...”*

(Chico Xavier)

## RESUMO

O feijão-caupi tem grande importância na alimentação e na geração de emprego e renda da região Nordeste do Brasil, principalmente para o estado do Ceará, considerado um dos maiores produtores dessa leguminosa. Os objetivos deste trabalho foram: (i) inferir acerca da adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi, visando subsidiar a recomendação de cultivares para a produção de grãos verdes no estado do Ceará e (ii) elaborar um índice seletivo que permita auxiliar na recomendação de cultivares de feijão-caupi para produção de grãos verdes e selecionar os melhores genótipos com base no mesmo. Foram conduzidos cinco ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) em cinco localidades distintas do estado do Ceará: Acaraú, Pentecoste, Crato, Mauriti e Madalena. Nesses ensaios foram avaliados 20 genótipos de feijão-caupi, que incluíram linhagens superiores e cultivares. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram mensurados os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), altura da planta (ALT), comprimento da vagem verde (COMPV), número de grãos da vagem verde (NGV), massa da vagem verde (MV), massa de grãos da vagem verde (MGV), massa de cem grãos verdes ( $M_{100G}$ ), índice de grãos (IG), produtividade das vagens verdes (PV) e produtividade de grãos verdes (PG). As análises de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos verdes, por meio da técnica multivariada GGE biplot, possibilitaram eleger as linhagens MNC05-847B-123 e MNC00-595F-27, como as melhores para produção de grãos verdes no estado do Ceará. Foi realizado o estudo da importância relativa dos caracteres, por meio do método dos componentes principais, análise de fatores e confecção dos índices de seleção. Resultando no seguinte índice:  $I_3 = 0,079 \text{ NDIF} - 0,083 \text{ ALT} + 0,119 \text{ COMPV} + 0,034 \text{ MV} - 0,176 \text{ M}_{100G} + 0,340 \text{ PV}$ . A aplicação deste índice possibilitou eleger os genótipos MNC05-847B-123, Azulão-MS, MNC00-595F-27, MNC99-541F-15, MNC05-835B-16 e MNC00-595F-2, como os mais promissores para produção de grãos verdes.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata* L. Interação GxE. GGE biplot. Valor de cultivo e uso. Feijão-verde.

## ABSTRACT

Bean cowpea has great importance in food and in the generation of employment and income in the Northeast region of Brazil, especially for the state of Ceará, considered one of the largest producers of this legume. The objectives of this study were: (i) to infer about the adaptability and productive stability of cowpea genotypes, aiming to subsidize the recommendation of cultivars for the production of green grains in the state of Ceará and (ii) to elaborate a selective index that allows to assist in the recommendation of cultivars of cowpea for the production of green grains and to select the best genotypes based on it. Five trials of value of cultivation and use were conducted in five distinct locations in the state of Ceará: Acaraú, Pentecoste, Crato, Mauriti e Madalena. In these trials, 20 cowpea genotypes were evaluated, which included superior lines and cultivars. A randomized block design with four replications was used. The number of days to beginning of flowering, number of days to maturity, plant height, green pod length, number of bean grains from the green pod, green pod weight, weight of bean grains from the green pod, 100 fresh green bean grain weight, bean grain index, green pod yield, and fresh green bean grain yield. The analyzes of adaptability and stability of the yield of green grains, using the GGE biplot multivariate technique, made it possible to choose the MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 lines, as the best for the production of green grains in the state of Ceará. The relative importance of the characters was studied by means of the main components method, factor analysis and selection indices. Resulting in the following index:  $I_3 = 0.079 \text{ NDBF} - 0.083 \text{ HEI} + 0.119 \text{ GPL} + 0.034 \text{ PW} - 0.176 \text{ 100BSW} + 0.340 \text{ PY}$ . The application of this index made it possible to select the genotypes MNC05-847B-123, Azulão-MS, MNC00-595F-27, MNC99-541F-15, MNC05-835B-16 e MNC00-595F-2, as the most promising for the production of green grains.

**Keywords:** *Vigna unguiculata* L. Adaptability and stability. GGE biplot. Index selection. Green bean.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	11
2. PROJEÇÃO GGE BILOT NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES .....	15
3. ÍNDICE SELETIVO PARA AUXILIAR NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI, VISANDO À PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES .....	34
4. CONCLUSÃO GERAL .....	51
REFERÊNCIAS .....	52
ANEXO A – RESULTADO DA ANÁLISE DA AMOSTRA DE SOLO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS .....	56

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é uma das espécies mais cultivadas na região Nordeste do Brasil. É considerado uma das principais culturas alimentícias das populações rurais, sendo importante na geração de emprego e renda para essa região (BERTINI *et al.*, 2010). O estado do Ceará destaca-se como um dos maiores produtores e consumidores dessa leguminosa (CONAB, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

Em 2016 no estado do Ceará foram cultivados 397,3 mil ha com uma produção de 137,9 mil t de grãos secos (grãos maduros) (CONAB, 2017). No entanto, atualmente, não há estatísticas oficiais da produção e produtividade de grãos verdes (grãos imaturos), o que impossibilita saber qual a participação do referido estado na produção total desse segmento de mercado. Porém, sabe-se que o Ceará possui grande demanda, pois em 2016 comercializou 2.887,7 t de grãos verdes (CEASA, 2018).

O feijão-caupi é cultivado, predominantemente, para a produção de grãos secos, mas a demanda por vagens e grãos verdes vem crescendo e ganhando importância no mercado (ADEWALE *et al.*, 2010). Isto porque, o cultivo para grãos verdes não possui safra específica, sendo produzido durante o ano todo por horticultores como uma hortaliça (ROCHA, 2009; SILVEIRA *et al.*, 2014). Ademais, é importante fonte de emprego e renda, principalmente de agricultores familiares, visto que o sistema de produção deste segmento, normalmente, exige muito trabalho manual, principalmente na colheita e debulha dos grãos. A comercialização é feita a granel, em feiras livres, ou em embalagens, em mercearias e redes de supermercados, com preços atrativos. Portanto, os grãos verdes integram um segmento promissor, tanto para agricultores familiares como empresariais, com grande perspectiva de expansão do consumo e processamento industrial (FREIRE FILHO *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

Dada a importância que esse segmento de mercado vem assumindo, muitos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de auxiliar na seleção de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e/ou grãos verdes (ROCHA *et al.*, 2012; RAMOS *et al.*, 2014; SOUSA *et al.*, 2015). Porém, ainda são escassas as pesquisas com vistas a fortalecer a produção de grãos verdes, especialmente para o estado do Ceará (ALMEIDA, 2013). Isto porque, as poucas cultivares lançadas e recomendadas para esse estado (Patativa, Sempre verde e Setentão) (ROCHA *et al.*, 2017) e as diversas indicadas (BRS Novaera, BRS Punjante, BRS Guariba, BRS Cauamé, BRS Tumucumaque, BRS Marataoã, etc.) (MAPA, 2017) não são específicas para a produção de grãos verdes. Conseqüentemente, muitos produtores utilizam variedades

tradicionais e cultivares destinadas a produção de grãos secos para produção de grãos verdes, comprometendo a qualidade e o rendimento final da produção (OLIVEIRA *et al.*, 2002; ROCHA *et al.*, 2017). Diante disso, é de suma importância desenvolver e recomendar cultivares aptos à produção de grãos verdes, visando melhorar o agronegócio no estado do Ceará.

Para a recomendação de cultivares destinadas ao mercado de grãos verdes, além do potencial da região de cultivo, outros atributos devem ser considerados para satisfazer as exigências do produtor e consumidor, tais como: arquitetura da planta, resistência ao acamamento, facilidade de debulha da vagem, qualidade física e nutricional do grão e índice de grãos (SOUSA *et al.*, 2015). Portanto, a utilização de um índice de seleção que auxilie na recomendação de cultivares constitui-se em uma ferramenta indispensável ao melhorista, pois além dos vários caracteres que devem ser considerados simultaneamente, há também o agravante de nem sempre ser possível conduzir os ensaios finais em todos os locais de cultivo. Neste sentido, o índice viabilizará a ampliação da recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade e estabilidade de produção.

As análises de adaptabilidade e estabilidade permitem a identificação de cultivares de comportamento previsível, que sejam responsivas às variações ambientais, em condições específicas ou amplas, tornando mais confiável sua recomendação. A adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos tirarem proveito das condições ambientais existentes, enquanto a estabilidade se relaciona com a capacidade de uma resposta genotípica previsível sob uma condição ambiental (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Nos últimos 60 anos, várias metodologias para estudar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos foram desenvolvidas para auxiliar os programas de melhoramento na seleção de genótipos mais estáveis e adequados para as diversas culturas em diferentes ambientes (CARVALHO *et al.*, 2016). Uma das metodologias utilizadas é o GGE Biplot, que agrupa o efeito aditivo de genótipos com o efeito multiplicativo da interação GxE, e submete estes à análise de componentes principais (YAN *et al.*, 2000). Esse método gera informações sobre os genótipos com ampla adaptabilidade (combinação de média fenotípica e estabilidade) no mesmo gráfico, auxiliando na delimitação de áreas agrônomicas por meio da identificação de mega-ambientes, podendo recomendar os ambientes mais representativos de cada local e genótipos com adaptação específica para cada região (CARVALHO *et al.*, 2016).

Com base no exposto, objetivou-se determinar, no estado do Ceará, a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi desenvolvidos para a produção de feijão-verde e elaborar um índice de seleção para auxiliar na recomendação de cultivares.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W.S. **Potencial de genótipos de feijão-caupi para produção de feijão-verde no norte do estado do Ceará**. 2013. 80f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ADEWALE, B.D. *et al.* Genotypic variability and stability of some grain yield componentes of Cowpea. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v .5, n. 9, p. 874-880, 2010.
- BERTINI, C.H.C.M. *et al.* Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 613-619, 2010.
- CARVALHO, L.C.B. *et al.* Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 11, n. 12, p. 990-1000, 2016.
- CEASA. Centrais de abastecimento do Ceará. **Histórico de oferta de produtos em 2016**. Disponível em: < <http://www.ceasa-ce.com.br/index.php/historicoofertas>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2016/17 – Nono levantamento. v. 4. 2017. 161p. Disponível em:<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_06\\_08\\_09\\_02\\_48\\_boletim\\_graos\\_junho\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_06_08_09_02_48_boletim_graos_junho_2017.pdf)> Acesso em: 15 set. 2017.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v.1, UFV, Viçosa-MG, 2012, 514p.
- FREIRE FILHO, F.R. *et al.* A cultura: Aspectos socioeconômicos. In: DoVALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2017. v.1, cap.1, p.9-34.
- MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Política Agrícola, Portaria Nº 126, agosto, 2017.
- OLIVEIRA, A. P. *et al.* Avaliação de linhagens e cultivares de feijão-caupi, em Areia, PB. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 20, p. 180-182, 2002.
- RAMOS, H.M.M. *et al.* Produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 683-694, 2014.
- ROCHA, M.M. *et al.* Cultivo do feijão-caupi: cultivares. **Sistema de produção da Embrapa**, 2017. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em: 10 jul. 2018.
- ROCHA, M. M. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi quanto à produção de grãos frescos, em Teresina-PI. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 14, n. 1, p. 40-55, 2012.

ROCHA, M.M. O feijão-caupi para consumo na forma de grãos frescos. 2009. **Agrosoft Brasil**. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/574539>> Acesso em: 10 jul. 2018.

SILVEIRA, M.A. *et al.* Estratégia de comercialização do feijão-caupi produzido por agricultores familiares: Um estudo de caso na região leste de Goiás. **Conjuntura econômica goiana**, n. 30, p. 36-54, 2014.

SILVA, K.J.D.; ROCHA, M.M.; JÚNIOR, J.A.N.M. Socioeconomia. In: BASTOS, E.A. (Ed.). **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016. p. 6-12.

SOUSA, J.L.M. *et al.* Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 392-398, 2015.

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

## 2. PROJEÇÃO GGE BIPLLOT NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi inferir acerca da adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi visando subsidiar a recomendação de cultivares para a produção de grãos verdes no estado do Ceará. Para isto, foram conduzidos cinco ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) em localidades distintas pertencentes à duas regiões climáticas do estado do Ceará: Tropical quente semiárido brando (Acará, Pentecoste e Crato) e Tropical quente semiárido (Mauriti e Madalena). Foram avaliados 20 genótipos de feijão-caupi, sendo 12 linhagens elite e oito cultivares, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram realizadas análises de variância e em seguida análises de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos verdes por meio da técnica multivariada GGE biplot. Os efeitos de genótipos, ambientes e interação GxE foram significativos, evidenciando respostas diferenciadas dos genótipos nas diferentes localidades. No aprofundamento das análises de adaptabilidade e estabilidade, os resultados do método GGE biplot revelaram que os dois primeiros componentes principais explicaram 72,17 % da variação total, permitindo projeções bidimensionais fidedignas. A cidade de Crato foi indicada como local ideal para teste e as linhagens MNC05-847B-123 e MNC00-595F-27 se mostraram produtivas, adaptadas e estáveis, devendo serem recomendadas para produção de grãos verdes no estado do Ceará.

**Palavras chaves:** *Vigna unguiculata*. Interação genótipos x ambientes. Produtividade de grãos. Valor de cultivo e uso

### ABSTRACT

The objective of this work was to infer about the adaptability and productive stability of cowpea genotypes in order to subsidize the recommendation of cultivars for the production of green grains in the state of Ceará. For this, five cultivation and use value (VCU) trials were carried out in distinct locations belonging to two climatic regions of the state of Ceará: mild warm semi-arid tropical (Acará, Pentecoste and Crato) and semi-arid hot tropical (Mauriti and Madalena). Twenty genotypes of cowpea were evaluated, being 12 elite lines and eight

cultivars, in a randomized complete block design, with four replications. Analyzes of variance and then analyzes of adaptability and stability of yield of green grains were carried out using the GGE biplot multivariate technique. The effects of genotypes, environments and GxE interaction were significant, evidencing differentiated responses of the genotypes in the different localities. In the deepening of the adaptability and stability analyzes, the results of the GGE biplot method revealed that the first two main components explained 72.17% of the total variation, allowing reliable two-dimensional projections. The city of Crato was indicated as an ideal test site and the lines MNC05-847B-123 and MNC00-595F-27 proved to be productive, adapted and stable and should be recommended for the production of green grains in the state of Ceará.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*. Interaction genotypes x environments. Grain productivity. Value of cultivation and use.

## **Introdução**

O feijão-caupi é muito apreciado na forma de grãos verdes (grãos imaturos) pela população nordestina do Brasil, fazendo parte de vários pratos típicos. Por isso, o mercado para grãos verdes representa uma tradição na região Nordeste, e aos poucos vem ganhando espaço na culinária de outras capitais das regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (SOUSA *et al.*, 2015). Provavelmente, o estado do Ceará é considerado um dos maiores produtores e consumidores de grãos verdes do Nordeste. O volume comercializado desse produto em 2016 foi de 2.887,7 t (CEASA, 2018), evidenciando uma grande demanda desse produto no estado.

O feijão-verde (vagens e grãos verdes) é um segmento de mercado atrativo, de grande volume, sobre o qual há poucas informações, e que envolve tanto agricultores familiares (predominante) quanto empresariais (FREIRE FILHO *et al.*, 2017). No entanto, no mercado brasileiro há uma carência de cultivares melhoradas desenvolvidas com a finalidade específica para produção de grãos verdes. Em virtude disso, muitos materiais genéticos utilizados para produção de grãos secos são também utilizados na produção de grãos verdes (SOUSA, 2013). Contudo, há demandas recentes de redes de supermercados e restaurantes por feijões verdes que apresentem vida de prateleira mais longa e que preservem suas características visuais após o cozimento, o que geralmente não ocorre com cultivares convencionais aptas à produção de grãos secos (ROCHA, 2009).

O sucesso comercial de uma cultivar está relacionado ao seu desempenho agrônomico em uma ampla região de cultivo (SOUSA *et al.*, 2018). Neste sentido, programas de melhoramento de feijão-caupi testam anualmente um grande número de genótipos em diferentes ambientes, antes da recomendação (SANTOS *et al.*, 2014). Entretanto, ao avaliar genótipos em vários ambientes, surge frequentemente um componente adicional que influencia os valores fenotípicos, denominado interação genótipos por ambientes (GxE) (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

A interação GxE ocorre quando o desempenho relativo dos genótipos não é consistente de um ambiente para outro, e tal inconsistência é causada por respostas diferenciadas do mesmo conjunto de genes à mudanças no ambiente ou pela expressão de diferentes conjuntos de genes em diferentes ambientes (MUTHONI; SHIMELIS; MELIS, 2015). A interação GxE não pode ser evitada (ADEWALE *et al.*, 2010) e sua ocorrência pode dificultar a seleção de genótipos (CARVALHO *et al.*, 2016). Portanto, entre as alternativas para se atenuar a influência dessa interação tem sido recomendado o emprego de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

A análise de adaptabilidade e estabilidade é uma ferramenta importante para os melhoristas de plantas identificarem e recomendarem genótipos amplamente ou especificamente adaptados para um conjunto alvo de ambientes (MUTHONI *et al.*, 2015). Um genótipo é considerado adaptado e estável quando aproveita vantajosamente os efeitos ambientais e quando se comporta de forma previsível frente a este (ROCHA *et al.*, 2012).

Existem várias metodologias para inferência sobre a interação GxE e determinação da adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos. Entre as mais utilizadas em estudos genéticos destaca-se a projeção GGE biplot (*genotype main effects + genotype environment interaction*). Esse modelo explora com eficácia a interação GxE, possibilitando maior acurácia na identificação de mega-ambientes e na seleção de genótipos estáveis e adaptados a ambientes específicos (SILVA; BENIN, 2012).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi inferir acerca da adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi, visando subsidiar a recomendação de cultivares para a produção de grãos verdes no estado do Ceará.

## Material e métodos

Foram conduzidos cinco ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) em distintas localidades no estado do Ceará (Tabela 1, Figura 1), de 2015 a 2017. Foram avaliados 20 genótipos de feijão-caupi, sendo 12 linhagens elite e 8 cultivares, oriundos do Banco Ativo de Germoplasma do Programa de Melhoramento Genético de feijão-caupi, da Embrapa Meio-Norte, em parceria com a Universidade Federal do Ceará (Tabela 2). As cultivares Vagem Roxa-THE, Azulão-MS e Sempre Verde-CE, bastante cultivadas para produção de feijão-verde, foram utilizadas como testemunhas.

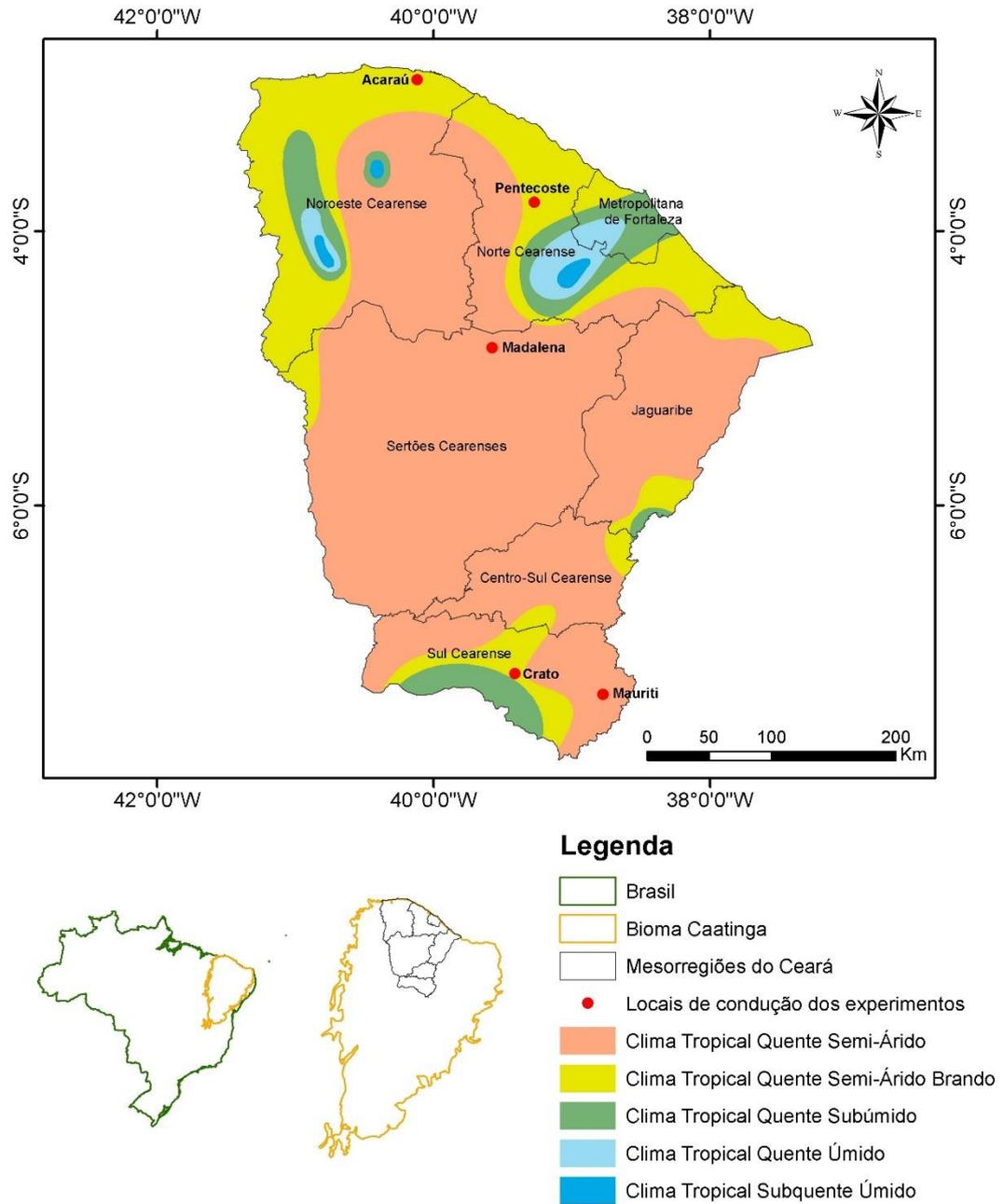
Tabela 1- Relação dos locais no estado do Ceará onde foram realizados os experimentos, com suas respectivas datas de semeadura, coordenadas geográficas, precipitação pluviométrica e temperatura média anual.

Local	Semeadura	Altitude	Latitude	Longitude	Precipitação*	Temperatura
Acaraú	23/03/2015	16,5 m	02°53'S	40°08'W	308,1 mm	27,7 °C
Pentecoste	12/04/2016	45 m	03°49'S	39°20'W	98,2 mm	26,4 °C
Crato	24/08/2016	427 m	07°14'S	39°22'W	12,8 mm	21,1 °C
Mauriti	01/02/2017	453 m	07°23'S	38°41'W	172,0 mm	25,2 °C
Madalena	25/02/2017	353 m	04°47'S	39°39'W	168,8 mm	25,9 °C

\*Precipitação média no decorrer de três meses durante a condução dos experimentos.

Fonte: Adaptado FUNCEME, 2018.

Figura 1 – Classificação climática e distribuição geográfica dos locais de avaliação dos 20 genótipos de feijão-caupi no estado do Ceará, 2018.



Fonte: Adaptado FUNCEME e IPECE (2018).

Tabela 2 - Relação dos genótipos de feijão-caupi, com seus respectivos parentais e/ou procedência e subclasses comerciais.

Código	Genótipo	Parentais/Procedência	Subclasse Comercial
1	MNC00-586F-303-9 <sup>(1)</sup>	Capela x IT85F-2687	Verde
2	MNC00-595F-2 <sup>(1)</sup>	BRS-Bragança x GV-10-91-1-1	Verde
3	MNC00-595F-27 <sup>(1)</sup>	BRS-Bragança x GV-10-91-1-1	Verde
4	MNC05-835B-15 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
5	MNC05-835B-16 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
6	MNC05-841B-49 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-9 x MNC99-537F-14-2	Verde
7	MNC05-847B-123 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-11 x MNC99-537-14-2	Verde
8	MNC05-847B-126 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-11 x MNC99-537-14-2	Verde
9	MNC99-541F-15 <sup>(1)</sup>	TE93-210-13F x TE96-282-22G	Branca
10	BRS Guariba <sup>(2)</sup>	IT85F-2687 x TE87-98-8G	Branca
11	BRS Tumucumaque <sup>(2)</sup>	TE96-282-22G x IT87D-611-3	Branca
12	BRS Xiquexique <sup>(2)</sup>	TE87-108-6G x TE87-98-8G	Branca
13	Paulistinha <sup>(2)</sup>	Juazeiro-CE	Canapu
14	Vagem Roxa-THE <sup>(2)*</sup>	Teresina-PI	Branca
15	Azulão-MS <sup>(2)*</sup>	Dourados-MS	Azulão
16	Sempre Verde-CE <sup>(2)*</sup>	Fortaleza-CE	Sempre-verde
17	BRS Aracê <sup>(2)</sup>	MNC00-599F-11 x MNC99-537F-14-2	Verde
18	Pingo-de-Ouro-1-2 <sup>(1)</sup>	Iguatu-CE	Canapu
19	MNC02-701F-2 <sup>(1)</sup>	TE93-210-13F x (TE96-282-22G x Costelão)	Branca
20	MNC99-510F-16-1 <sup>(1)</sup>	Paulista x TE90-180-88F	Sempre-verde

Fonte: EMBRAPA MEIO-NORTE (2014).

<sup>(1)</sup>Linhagem, <sup>(2)</sup>Cultivar e \*Testemunha.

Os genótipos foram avaliados quanto à produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) em condições de sequeiro, com exceção do ensaio conduzido no município de Crato. Neste último ambiente, o cultivo foi irrigado utilizando um sistema de aspersão convencional fixo com irrigação periódica durante 30 minutos/dia. O período de semeadura variou de acordo com a estação chuvosa, ocorrendo de fevereiro a abril, exceto no município de Crato, que ocorreu em agosto, fora do período de maior frequência de chuvas (Tabela 1). Portanto, neste ambiente houve a necessidade de suplementar o *status* hídrico das plantas com água via irrigação.

Os ensaios foram conduzidos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi similar em todos os ensaios, conforme exigência do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), com dimensões de 3,2 x 5,0 m, composta por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, tendo como área útil as duas fileiras centrais. Utilizou-se o espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas dentro das fileiras, resultando em 20 covas por fileira. Quatro sementes por cova foram semeadas e, aos 15 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova.

No preparo do solo, foram utilizadas práticas convencionais de aração e gradagem, de acordo com a necessidade da área. Foram realizadas adubações de plantio com cloreto de potássio e superfosfato simples, e adubações nitrogenadas por cobertura com ureia aos 15 dias de semeadura. As adubações foram realizadas atendendo as recomendações para o solo da área experimental de cada ambiente, com base na análise química do solo. O controle de pragas e plantas daninhas, quando necessário, foi realizado com aplicações de inseticidas e capinas manuais, respectivamente. A colheita foi conduzida manualmente sempre que as vagens estavam no ponto de maturação para comercialização como grãos verdes, isto é, quando os grãos apresentavam de 60 a 70% de umidade, observando o padrão de maturação individual para efeito de colheita de cada genótipo.

Inicialmente, foi realizada uma análise de variância para cada ambiente para verificar a homogeneidade da variância residual. Posteriormente, foi realizada a análise conjunta de variância, considerando os efeitos dos genótipos e dos ambientes com o objetivo principal de determinar possíveis interações dos genótipos com os ambientes avaliados. A acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007) foi estimada como  $AS = (1-1/F)^{1/2}$ , em que F é o valor do teste F para genótipos.

A análise multivariada GGE biplot foi baseada na informação da média fenotípica, considerando o seguinte modelo:  $\bar{Y}_{ij} - \mu = G_i + E_j + GE_{ij}$ , em que:  $\bar{Y}_{ij}$  representa a média fenotípica do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;  $\mu$  é a média geral;  $G_i$  é o efeito do genótipo  $i$ ;  $E_j$  é o efeito do ambiente  $j$ ; e  $GE_{ij}$  é o efeito da interação entre o genótipo  $i$  e o ambiente  $j$ .

O modelo GGE biplot não separa os efeitos genotípicos (G) dos efeitos da interação genótipos x ambientes (GE), mantendo-os juntos em dois termos multiplicativos, representados na seguinte equação:  $Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{1i}e_{1j} + g_{2i}e_{2j} + \epsilon_{ij}$ ; em que:  $Y_{ij}$  é o rendimento esperado do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;  $\mu$  é a média geral das observações;  $\beta_j$  é o efeito principal do ambiente  $j$ ;  $g_{1i}$  e  $e_{1j}$  são os escores principais do  $i$ -ésimo

genótipo no  $j$ -ésimo ambiente, respectivamente;  $g_{i2}$  e  $e_{2j}$  são escores secundários para o genótipo  $i$  e ambiente  $j$ , respectivamente; e  $\varepsilon_{ij}$  é o resíduo não explicado por ambos os efeitos (“ruído”).

Assim, a construção do modelo GGE biplot é realizada pela simples dispersão de  $g_{i1}$  e  $g_{i2}$  para genótipos, e  $e_{1j}$  e  $e_{2j}$  para ambientes, por meio da decomposição em valores singulares (SVD), de acordo com a equação  $Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$ , onde  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  são os maiores autovalores do primeiro e segundo componente principal,  $CPE_1$  e  $CPE_2$ , respectivamente;  $\xi_{i1}$  e  $\xi_{i2}$  são os autovalores do  $i$ -ésimo genótipo para  $CPE_1$  e  $CPE_2$ , respectivamente;  $\eta_{1j}$  e  $\eta_{2j}$  são os valores do  $j$ -ésimo ambiente para  $CPE_1$  e  $CPE_2$ , respectivamente. A análise GGE biplot foi realizada com o auxílio do software R (R Development Core Team, 2014).

Para avaliar a adequação de um biplot para exibir os padrões de uma tabela de dupla entrada, foi estimada a relação de informação (IR), proposta por Yan e Tinker (2006). O IR pode ser calculado para cada componente principal usando a proporção da variância total explicada por cada componente principal multiplicado por  $k$ . Se não houver correlação entre os ambientes, todos os  $k$  CP's devem ser completamente independentes, e a proporção da variância total explicada por cada CP deve ser precisamente  $1/k$ . Quando há uma correlação entre os ambientes, a proporção da variação explicada pelos primeiros CP's deve ser maior que  $1/k$ , e a variação explicada por outros CP's deve ser inferior ou igual a  $1/k$ . Um CP com  $IR > 1$  contém padrões (associações entre ambientes); um CP com  $IR = 1$  não inclui padrões, mas pode conter alguma informação independente; e um CP com  $IR < 1$  não fornece nenhum padrão ou informação (YAN, 2011).

## Resultados e Discussão

As análises de variância conjunta revelaram diferenças significativas ( $p < 0,01$ ) para os efeitos de genótipo, ambiente e interação GxE (Tabela 3). Isto indica, respectivamente, que há diferenças nas respostas dos genótipos quanto à produtividade de grãos verdes, que os locais foram suficientemente contrastantes para discriminar os genótipos, e que estes responderam de forma distinta nos diferentes locais de cultivo. Assim, evidencia-se que os genótipos não apresentaram desempenhos consistentes para todos os ambientes de testes. Isto se deve em decorrência das diferenças ecogeográficas dos ambientes considerados no presente estudo (Tabela 1), resultando em diferenças de altitude, latitude e longitude, além de efeitos climáticos como precipitação e temperatura.

Barros *et al.* (2016) e Santos *et al.* (2017a) verificaram resultados semelhantes ao avaliarem a produtividade de grãos em genótipos de feijão-caupi em ensaios multi-ambientais no estado do Mato Grosso do Sul. Os autores ressaltaram que os fatores edafoclimáticos tiveram maior efeito sobre a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos e que análises adicionais deveriam ser procedidas para identificar genótipos mais adaptados a um maior número de localidades.

Tabela 3 - Resumo da análise conjunta da ANOVA para produtividade de grãos verdes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de 20 genótipos de feijão-caupi, avaliados em ensaios de valor de cultivo e uso, em cinco localidades no estado do Ceará. Ceará, 2018.

Fonte de variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios
Blocos	3	368.832,1
Genótipos (G)	19	828.533,9**
Ambientes (E)	4	9.905.440,7**
G x E	76	248.812,9**
Resíduos	297	158.262,3
Acurácia seletiva (AS)	-	0,73
Média	-	926,45

Fonte: elaborada pelo autor.

\*\* significativo a  $p < 0,01$  de acordo com o teste F.

Os resultados sugerem uma avaliação mais aprofundada dos efeitos principais e da interação GxE, que não podem ser obtidos por uma análise padrão de variância, embora tenha se constatado alta acurácia seletiva, de acordo com Resende e Duarte (2007). A acurácia seletiva é um parâmetro que reflete a qualidade das informações (precisão experimental) e os procedimentos utilizados na predição de valores genéticos (PIMENTEL *et al.*, 2014).

O efeito aditivo de genótipos e o efeito multiplicativo da interação são agrupados na análise GGE, e submetidos concomitantemente à análise de componentes principais (YAN *et al.*, 2000). Assim, a análise de componentes principais revelou que os dois primeiros componentes foram responsáveis por 72,17 % da variação total para produtividade de grãos verdes (Tabela 4). Portanto, estes resultados mostram que a técnica multivariada de componentes principais explicou grande proporção das somas dos quadrados dos genótipos e da interação GxE, demonstrando a alta eficiência da metodologia (SANTOS *et al.*, 2017b).

Tabela 4 - Valor singular, variação explicada, proporção acumulada, e relação de informação (IR) para os cinco componentes principais (CP's) da análise GGE biplot de 20 genótipos de feijão-caupi, avaliados em ensaios de valor de cultivo e uso em cinco localidades no estado do Ceará. Ceará, 2018.

CP	Valor Singular	% explicada	% acumulada	IR
1	209.924,8	51,84	51,84	3,56
2	82.305,5	20,33	72,17	1,43
3	71.534,5	17,66	89,83	1,16
4	29.155,2	7,20	97,03	0,62
5	12.020,1	2,97	100,0	0,14

Fonte: elaborada pelo autor

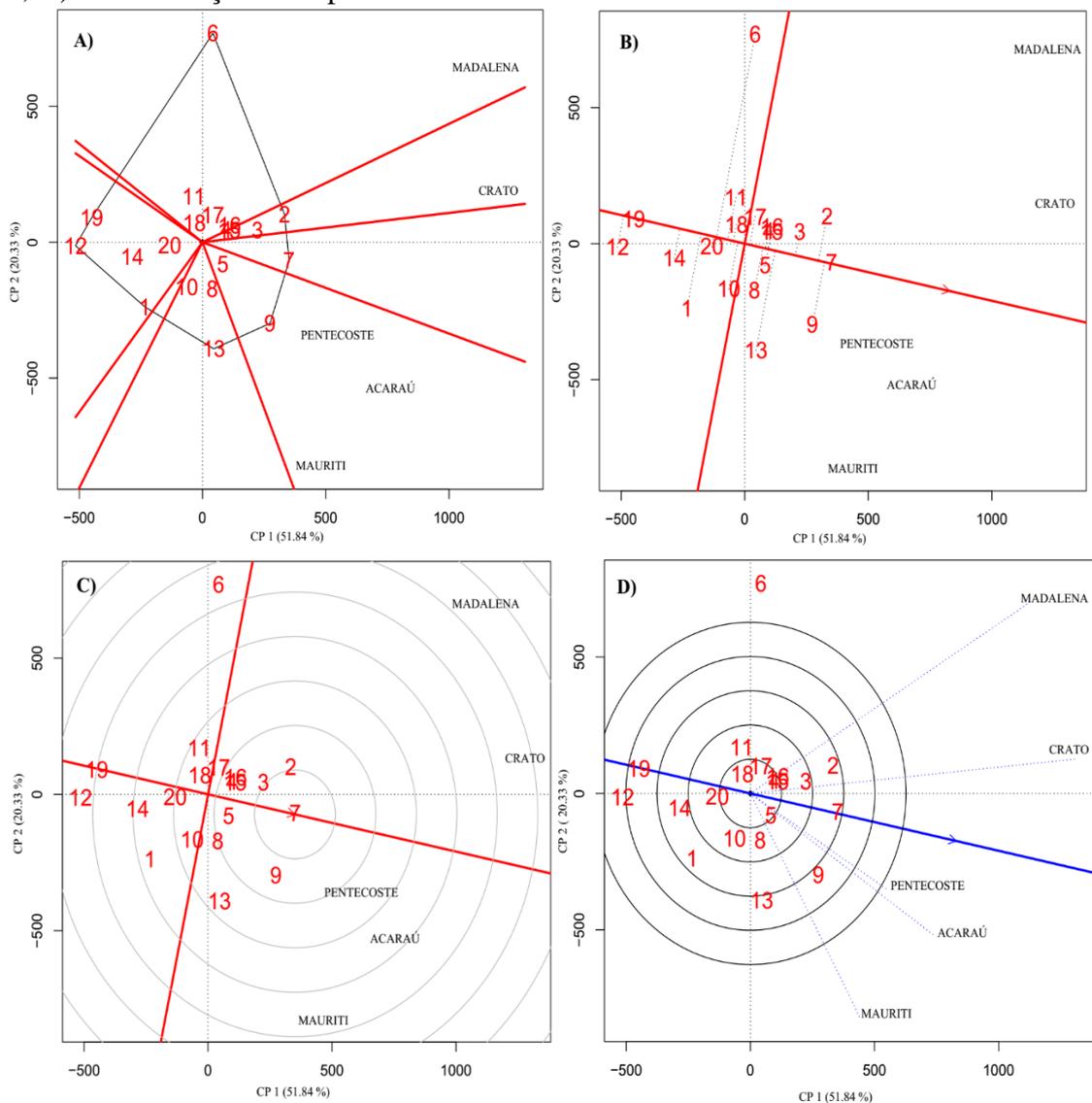
Oliveira *et al.* (2017) utilizaram o mesmo procedimento para avaliar adaptabilidade e estabilidade da densidade de zinco no grão, em 12 genótipos de feijão-caupi, e observaram alta eficiência com os dois primeiros componentes (77,8%). No entanto, Sousa *et al.* (2018) avaliaram a interação G×E na produtividade de grãos em linhagens elite de feijão-caupi e verificaram menor eficiência quando considerado os dois primeiros componentes (66%). Essas diferenças em relação ao percentual de eficiência da metodologia, na explicação dos efeitos de genótipos e da interação G×E dependem do caráter, dos genótipos avaliados e dos ambientes (locais ou safras) considerados (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Ademais, é plausível afirmar que a porcentagem da variação não explicada pelos dois primeiros componentes principais é composta, em maior parte, por “ruídos” (CARVALHO, 2015), que não causam sérias consequências à recomendação, considerando a elevada magnitude da variação explicada.

Em relação às informações relativas (IR) dos cinco componentes principais, os três primeiros apresentaram valores acima de uma unidade (Tabela 4). Isto revela que os três primeiros componentes são efetivamente os mais importantes (informativos) na explicação da variação total dos dados. Oliveira *et al.* (2017) relataram que a existência de padrões nos dois primeiros componentes principais confirmam os resultados do teste F da análise conjunta. Como no presente estudo detectou-se diferença significativa do efeito da interação G×E para produtividade de grãos verdes, ratificou-se o comportamento diferenciado dos genótipos frente às mudanças ambientais, justificando assim a aplicação do método GGE-Biplot na inferência da adaptabilidade.

O GGE biplot “quem é melhor onde” (Figura 2A) com base nos dois primeiros componentes principais forneceu um padrão de visualização, possibilitando identificar genótipos com desempenhos superiores para ambientes específicos. De acordo com esse gráfico, os genótipos 1 (MNC00-586F-303-9), 2 (MNC00-595F-2,) 6 (MNC05-841B-49), 7 (MNC05-847B-123), 9 (MNC99-541F-15), 12 (BRS Xiquexique), 13 (Paulistinha) e 19 (MNC02-701F-2) situados no vértice do polígono são considerados os mais responsivos aos

respectivos ambientes próximos a cada vértice. Porém, podem apresentar melhor ou pior desempenho em um ou mais ambientes (YAN; TINKER, 2006), sendo mais indicados para uma recomendação específica. Ao contrário, os demais genótipos localizados próximo a origem, isto é, dentro do polígono, são menos responsivos aos estímulos ambientais e, portanto, mais indicados quando se objetiva uma adaptação ampla.

Figura 2 - Resultados das análises GGE biplot para a produtividade de grãos de 20 genótipos de feijão-caupi (1 a 20), avaliados em cinco localidades do estado do Ceará (Acaraú, Pentecoste, Crato, Mauriti e Madalena). A) Quem é melhor onde; B) média vs. estabilidade; C) genótipo ideal; D) discriminação vs. representatividade.



Fonte: elaborada pelo autor

Uma das vantagens do método GGE biplot é auxiliar na delimitação de áreas agrônômicas por meio da identificação de mega-ambientes, definidos como o grupo de

ambientes com padrão de interação GxE semelhante e, conseqüentemente, com pouca mudança no ranqueamento dos genótipos (CARVALHO *et al.*, 2016). O biplot “quem é melhor onde” permite ainda o agrupamento visual dos ambientes e determina os genótipos com melhor desempenho médio para cada mega-ambiente (YAN *et al.*, 2007). Neste sentido, conforme observado nas projeções (Figura 2A) foram formados três mega-ambientes, sendo o primeiro representado por Pentecoste, Acaraú e Mauriti; o segundo por Crato e o terceiro por Madalena. As linhagens 9 (MNC99-541F-15), 2 (MNC00-595F-2) e 6 (MNC05-841B-49) localizadas nos vértices do polígono do primeiro, segundo e terceiro mega-ambiente, respectivamente, apresentaram melhor desempenho médio dentro dos mega-ambientes formados. Oliveira *et al.* (2017) relatam que a quantidade de mega-ambientes formados depende do número e das características dos genótipos e dos ambientes, bem como da natureza do caráter estudado.

De acordo com o biplot média vs. estabilidade (Figura 2B), quanto maior a projeção de um genótipo em relação ao eixo do CP1, menor é sua estabilidade; por outro lado, quanto mais distante um genótipo do eixo CP2 (perpendicular ao eixo CP1), mais produtivo ele tende a ser. Assim, a linhagem 6 (MNC05-841B-49) foi a mais instável entre os genótipos avaliados e expressou desempenho produtivo abaixo da média, porém, exibiu desempenho vantajoso em relação aos demais genótipos cultivados no ambiente Madalena. As linhagens 7 (MNC05-847B-123), 19 (MNC02-701F-2) e 20 (MNC99-510F-16-1) são extremamente estáveis. No entanto, somente a primeira se sobressai quanto à produtividade de grãos verdes. Ademais, podem ser destacadas as linhagens 2 (MNC00-595F-2), 3 (MNC00-595F-27), 4 (MNC05-835B-15), 5 (MNC05-835B-16), 8 (MNC05-847B-126), e as cultivares 15 (Azulão-MS) e 16 (Sempre Verde-CE) dentre as que apresentaram maior estabilidade associada à maior produtividade. É importante destacar que as duas últimas são testemunhas (Azulão-MS e Sempre Verde-CE) e foram superadas em termos de produtividade pelas linhagens 7(MNC05-847B-123), 2 (MNC00-595F-2) e 3 (MNC00-595F-27).

Yan e Tinker (2006) relatam que “alta estabilidade” só é significativa quando associada ao desempenho médio do genótipo. Assim, observa-se que as linhagens 19 (MNC02-701F-2) e 20 (MNC99-510F-16-1), referenciadas anteriormente como extremamente estáveis por apresentarem projeções mínimas do eixo 1, não são boas opções para a produção de grãos verdes no Ceará. Isto porque, destacam-se somente por possuírem alto desempenho relativo consistente. No entanto, a linhagem 7 (MNC05-847B-123), que associou alto desempenho produtivo a alto desempenho relativo consistente (alta estabilidade), revela-se uma boa opção para ser recomendada; visto que associou adaptabilidade com estabilidade, além de superar as testemunhas 15 (Azulão-MS) e 16 (Sempre Verde-CE) em ambos os aspectos.

Um genótipo ideal é aquele que apresenta alto desempenho médio para o caráter estudado aliado a alta estabilidade em todos os ambientes de teste (YAN; TINKER, 2006). Embora esse seja um modelo hipotético, ele é usado como importante referência para identificar um ideótipo (SANTOS *et al.*, 2017b). Genótipos localizados mais próximos do centro dos círculos concêntricos são os mais desejados (Figura 2C). Com base nesse critério, destaca-se a linhagem 7 (MNC05-847B-123), já supracitada por sua alta estabilidade e produtividade, e também por estar mais próxima ao genótipo ideal, confirmando ser um genótipo bastante promissor para produção de grãos verdes no estado do Ceará.

As linhagens 3 (MNC00-595F-27) e 2 (MNC00-595F-2) alocadas no limite do primeiro círculo concêntrico, seguidas das linhagens 9 (MNC99-541F-15), 5 (MNC05-835B-16), 8 (MNC05-847B-126), 4 (MNC05-835B-15) e das cultivares 15 (Azulão-MS) e 16 (Sempre Verde-CE), alocadas no segundo círculo concêntrico, destacam-se por apresentar desempenho próximo ao genótipo ideal em termos de alta produtividade de grãos e estabilidade fenotípica. Reitera-se que as linhagens 9 (MNC99-541F-15), 2 (MNC00-595F-2) e 3 (MNC00-595F-27) apresentaram desempenho produtivo superior às testemunhas 15 (Azulão-MS) e 16 (Sempre Verde-CE), mas as duas primeiras não a superaram em termos de estabilidade. Portanto, essas linhagens são recomendadas apenas para o cultivo nos ambientes nos quais tiveram melhor desempenho (adaptabilidade específica), enquanto a linhagem 3 (MNC00-595F-27), com estabilidade semelhante às testemunhas, pode ser recomendada de modo generalizada para o estado do Ceará. Assim, é importante salientar que a recomendação dos melhores genótipos não deve ter como base apenas o seu alto desempenho produtivo, mas também deve ser considerada a sua estabilidade.

Um ambiente de teste ideal deve discriminar genótipos superiores e ser representativo de todos os ambientes de teste (SANTOS *et al.*, 2017b). O GGE biplot revela o poder discriminatório de um ambiente de teste com base no comprimento do seu vetor (YAN; HOLLAND, 2010). Assim, de acordo com o gráfico discriminação *vs.* representatividade (Figura 2D), os ambientes Madalena e Crato exibiram maiores vetores e, portanto, revelaram maior poder discriminatório. Mauriti e Acaraú apresentaram poder discriminatório moderado e Pentecoste menor poder discriminatório. Isso denota que o ambiente de Pentecoste dificultou a diferenciação genotípica.

De acordo com Yan *et al.* (2007) e Yan e Tinker (2006), os ambientes podem ser classificados em: ambientes discriminativos e representativos (úteis para selecionar genótipos superiores adaptados); ambientes discriminativos e não representativos (úteis para descartar genótipos instáveis) e ambientes não discriminativos e não representativos (não devem ser

utilizados como ambientes de teste). Com relação a representatividade, ambientes testes que apresentam pequenos ângulos com EAM (eixo do ambiente médio – linha que passa pelo ambiente médio e a origem do biplot) são mais representativos (YAN; TINKER, 2006). Com base nisto, os ambientes Crato, Pentecoste e Acaraú foram os mais representativos (Figura 2D).

Considerando os resultados apresentados, é possível inferir que o ambiente Crato foi discriminativo e representativo e, portanto, o mais próximo de um local ideal para recomendar genótipos superiores visando a produtividade de feijão-verde, ou seja, esse ambiente favorece a seleção de genótipos superiores adaptados. Entretanto, ressalta-se que o cultivo irrigado pode ter influenciado na escolha desse município como o mais próximo de um ambiente ideal, pois a constância da irrigação, principalmente nas fases mais críticas de desenvolvimento das plantas, como florescimento e enchimento do grão, pode ter favorecido a produtividade.

Ademais, é possível inferir que Madalena e Mauriti são úteis para descartar genótipos instáveis, em decorrência desses ambientes serem discriminativos e não representativos (YAN; TINKER, 2006). Já Pentecoste foi não discriminativo, porém representativo, indicando que embora esse ambiente não maximize a captura da variação genética entre genótipos (BLANCHE; MYERS, 2006), ele tem a capacidade de representar as condições dos demais locais de avaliação. Constatou-se também, que não houve ambientes simultaneamente não discriminativos e não representativos, impossibilitando o descarte de ambientes com base nesse critério.

A partir da visualização dos vetores de ambiente (linhas que conectam os ambientes até a origem do biplot) é possível inferir sobre a semelhança dos ambientes em discriminar os genótipos. De acordo com Yan e Tinker (2006), a distância entre dois ambientes mede sua dissimilaridade na discriminação dos genótipos. Com base nisso, Pentecoste e Acaraú por exibirem seus vetores ambientes muito próximos (Figura 2D), foram similares na discriminação dos genótipos. Embora estes ambientes estejam inseridos em mesorregiões distintas, eles apresentam o mesmo tipo de clima (Figura 1) e, portanto, revelaram resultados semelhantes. Conseqüentemente, em avaliações futuras, pode-se descartar um dos ambientes, visando proporcionar a economia de recursos físicos, financeiros e humanos.

Apesar da proximidade geográfica entre os ambientes Crato e Mauriti, ambos localizados na mesma mesorregião (Sul Cearense) (Figura 1), não houve semelhança entre os ambientes na discriminação dos genótipos, pois exibiram uma distância considerável entre seus vetores. Isso provavelmente se deveu a alguns fatores como: a influência do período de semeadura, dado que em Crato ocorreu durante a estação seca (agosto de 2016) e em Mauriti

durante a estação chuvosa (fevereiro de 2017); a irrigação utilizada no experimento conduzido em Crato, como forma de suplementar a necessidade hídrica da cultura; a diferença de clima e temperatura entre as duas localidades (Mauriti - Clima Tropical Quente Semi-Árido, com temperatura de 25,2 °C e Crato - Clima Tropical Quente Semi-Árido Brando, com temperatura de 21,1 °C), e ao tipo de tipo de solo.

O biplot GGE discriminação vs. representatividade (Figura 2D) também permite visualizar a relação entre os ambientes de acordo com o ângulo formado entre seus vetores. Se o ângulo formado entre dois vetores ambientes for agudo ( $<90^\circ$ ) há forte correlação positiva entre os ambientes, reto ( $=90^\circ$ ) não existe correlação entre os ambientes, obtuso ( $>90^\circ$ ) há forte correlação negativa entre ambientes (YAN; TINKER, 2006). Portanto, a maioria dos ambientes correlacionaram-se positivamente, com exceção de Madalena e Mauriti, cujo ângulo entre seus vetores gerou um ângulo  $>90^\circ$ . Isto indica que houve interação G×E de natureza complexa somente entre Madalena e Mauriti, ou seja, o ranqueamento dos genótipos só se alterou nesses dois ambientes. Ademais, a interação predominante entre os ambientes avaliados foi de natureza simples e, dessa forma, a recomendação poderá ser realizada de forma mais ampla (generalizada) sem grandes consequências.

A similaridade entre Pentecoste e Acaraú, já supracitada, confirma a forte correlação entre esses ambientes e, portanto, a semelhança na classificação dos genótipos. De acordo com Yan *et al.* (2007), alguns ambientes podem não fornecer informações exclusivas, devido à sua semelhança com outros ambientes na separação e classificação dos genótipos, podendo serem descartados, possibilitando uma redução nos custos de avaliação. Vale salientar que a identificação e descarte desses ambientes considerados não informativos e redundantes deve ter como base dados de vários anos.

É possível um genótipo apresentar alta adaptabilidade e estabilidade, porém ter desempenho medíocre, mostrando assim a importância de se analisar os dados médios de produtividade. Ao reunir as informações das análises GGE biplot com as médias de produtividade, constatou-se que as linhagens 7 (MNC05-847B-123), 2 (MNC00-595F-2) e 3 (MNC00-595F-27), adaptadas às condições das regiões avaliadas e com estabilidade de produção, apresentaram médias de produtividade superiores às testemunhas 14 (Vagem Roxa-THE), 15 (Azulão-MS) e 16 (Sempre Verde-CE) (Tabela 5). Estes resultados reiteram a precisão e sensibilidade da metodologia do GGE biplot e indicam que as linhagens supracitadas devem ser recomendadas para plantio no estado do Ceará, visando a produção de grãos verdes de feijão-caupi.

Table 5 - Produtividade média de grãos verdes (kg ha<sup>-1</sup>) de 20 genótipos de feijão-caupi, avaliados em ensaios de valor de cultivo e uso, em cinco localidades no estado do Ceará, 2018.

Código	Genótipos	Ambientes					Média Geral
		Acaraú	Pentecoste	Crato	Mauriti	Madalena	
1	MNC00-586F-303-9	781 Bb	563 Da	896 Ad	715 Cb	893 Ab	770
2	MNC00-595F-2	1064 Ca	631 Da	2413 Aa	634 Db	1629 Ba	1274
3	MNC00-595F-27	1005 Ca	930 Da	1196 Bc	722 Eb	1821 Aa	1135
4	MNC05-835B-15	938 Ca	640 Da	1765 Ab	322 Ec	1053 Bb	944
5	MNC05-835B-16	929 Ca	583 Ea	1384 Ac	751 Db	1314 Bb	992
6	MNC05-841B-49	646 Cb	248 Db	1257 Bc	104 Ed	1966 Aa	844
7	MNC05-847B-123	1350 Ca	875 Da	1438 Bc	739 Eb	1780 Aa	1236
8	MNC05-847B-126	1139 Ba	807 Da	1294 Ac	512 Eb	1115 Cb	973
9	MNC99-541F-15	1099 Ca	676 Ea	1712 Ab	1065 Da	1319 Bb	1174
10	BRS Guariba	1091 Ba	608 Ea	880 Cd	701 Db	1290 Ab	914
11	BRS Tumucumaque	793 Cb	343 Eb	1416 Ac	389 Dc	1211 Bb	830
12	BRS Xiquexique	555 Bb	238 Eb	407 Dd	489 Cc	878 Ab	513
13	Paulistinha	1422 Aa	588 Ea	1077 Cc	855 Da	1174 Bb	1023
14	Vagem Roxa-THE	769 Cb	222 Eb	805 Bd	627 Db	1032 Ab	691
15	Azulão-MS	1323 Ba	701 Da	914 Cd	504 Eb	1737 Aa	1036
16	Sempre Verde-CE	973 Ca	606 Ea	1277 Bc	628 Db	1546 Aa	1006
17	BRS Aracê	852 Ca	435 Ea	1296 Bc	625 Db	1449 Aa	931
18	Pingo-de-Ouro-1-2	911 Ca	505 Ea	1087 Bc	532 Db	1392 Ab	885
19	MNC02-701F-2	611 Bb	552 Ca	733 Ad	80 Db	713 Ab	538
20	MNC99-510F-16-1	800 Cb	463 Ea	943 Bd	641 Db	1262 Ab	822

Fonte: elaborada pelo autor.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e mesma letra minúscula na vertical constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo teste Scott-Knott a  $p < 0,05$ .

## Conclusão

As linhagens MNC05-847B-123 e MNC00-595F-27 de feijão-caupi podem ser recomendadas para a produção de grãos verdes no estado do Ceará, devido a alta produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade genotípica.

A linhagem MNC00-595F-2 pode ser recomendada especificamente para o Crato, pois aliou boa estabilidade e adaptabilidade à alta produtividade de grãos neste ambiente em particular.

## REFERÊNCIAS

ADEWALE, B. D. *et al.* Genotypic variability and stability of some grain yield components of Cowpea. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 5, n. 9, p. 874-880, 2010.

BARROS, L. M. A. *et al.* Bayesian approach increases accuracy when selecting cowpea genotypes with high adaptability and phenotypic stability. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v.15, n.1, p. 1-11, 2016.

BLANCHE, S. B.; MYERS, G. O. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 946-949.

CARVALHO, L. C. B. **Interpretação da interação genótipos x ambientes em feijão-caupi usando modelos multivariados, mistos e covariáveis ambientais**. 2015. 115 F. Tese (Doutorado: Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2015.

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

CEASA. Centrais de abastecimento do Ceará. **Histórico de ofertas de produtos em 2016**. Disponível em: < <http://www.ceasa-ce.com.br/index.php/historicoofertas>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.; REGAZZI, A.D. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. 668 p.

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

MUTHONI, J.; SHIMELIS, H.; MELIS, R. Genotype x Environment interaction and stability of potato tuber yield and bacterial wilt resistance in Kenya. **American Journal of Potato Research**, v. 92, n. 3, p. 367-378, 2015.

OLIVEIRA *et al.* Adaptability and stability of the zinc density in cowpea genotypes through GGE-Biplot method. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 3, p. 367-378, 2017

PIMENTEL, A. B. J. *et al.* Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 11, p. 882-890, 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna. R Foundation for Statistical Computing Vienna, 2014.

RESENDE, D.M.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROCHA, M. M. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi quanto à produção de grãos frescos, em Teresina-PI. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 14, n. 1, p. 40-55, 2012.

ROCHA, M.M. O feijão-caupi para consumo na forma de grãos frescos. 2009. **Agrosoft Brasil**. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/574539>> Acesso em: 10 jul. 2018

SANTOS, J.A.S. *et al.* Agronomic performance and genetic dissimilarity among cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes. **Global Advanced Research Journal of Agricultural Science**, v. 3, p. 271-277, 2014.

SANTOS, *et al.* Selection of cowpea genotypes for Mato Grosso do Sul via GGE biplot and linear regression. **Bioscienc Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 3, p. 631-638, 2017a.

SANTOS *et al.* GGE Biplot projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 1, p. 22-31, 2017b.

SILVA, R.R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1404-1412, 2012.

SOUSA, J. L. M. *et al.* Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 392-398, 2015.

SOUSA, J. L. M. **Seleção de genótipos de feijão-caupi em condições de sequeiro e irrigado para o mercado de vagens e grãos verdes**. 2013. 64 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento: Área de concentração Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

SOUSA, M. B. *et al.* Genotype by environment interaction in cowpea lines using gge biplot method. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 64-71, 2018.

YAN, W.; HOLLAND, J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, Dordrech, v. 171, n. 3, p. 355-369, 2010.

YAN, W. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data analysis. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, New Delhi, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

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

YAN, W. *et al.* GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 641-653, 2007.

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

### 3. ÍNDICE SELETIVO PARA AUXILIAR NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI, VISANDO À PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES

#### RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram elaborar um índice de seletivo que permita auxiliar na recomendação de cultivares de feijão-caupi para produção de grãos verdes e selecionar os melhores genótipos com base no mesmo. Foram conduzidos cinco ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) em ambientes distintos no estado do Ceará para avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi, incluindo 12 linhagens elite, 5 cultivares e 3 testemunhas. Os ensaios foram realizados no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Os caracteres avaliados foram: número de dias para o início da floração, número de dias para maturação, altura da planta, comprimento da vagem verde, número de grãos por vagem verde, massa da vagem verde, massa de grãos da vagem verde, massa de cem grãos verdes, índice de grãos, produtividade das vagens verdes e produtividade de grãos verdes. Foram realizadas análises de importância relativa dos caracteres estudados, por meio do método dos componentes principais, análise de fatores e confecção de índices de seleção. O seguinte índice foi obtido:  $I_3 = 0,079 \text{NDIF} - 0,083 \text{ALT} + 0,119 \text{COMPV} + 0,034 \text{MV} - 0,176 \text{M}_{100}\text{G} + 0,340 \text{PV}$ . Esse índice indicou que os genótipos MNC05-847B-123, Azulão-MS, MNC00-595F-27, MNC99-541F-15, MNC05-835B-16 e MNC00-595F-2 são os mais promissores para produção de grãos verdes.

**Palavras-chaves:** *Vigna unguiculata*. Feijão-verde. Análise de fatores. Melhoramento do feijão-caupi.

#### ABSTRACT

The objectives of this work were to elaborate a selective index that allows to assist in the recommendation of cowpea cultivars for the production of green grains and to select the best genotypes based on the same. Five cultivars and use value (VCU) trials were conducted in distinct environments in the state of Ceará to evaluate 20 cowpea genotypes, including 12 elite strains, 5 cultivars and 3 controls. The experiments were carried out in a randomized complete block design with four replications. The evaluated traits were: number of days for flowering,

number of days for maturation, plant height, green pod length, number of grains per green pod, green pod mass, green pod grain mass, hundred green grains, grain index, green pod yield and green grain yield. Analyzes of relative importance of the characters studied were carried out using the main components method, factor analysis and selection index. The following index was obtained:  $I3 = 0.079 \text{ NDIF} - 0.083 \text{ ALT} + 0.119 \text{ COMPV} + 0.034 \text{ MV} - 0.176 \text{ M100G} + 0.340 \text{ PV}$ . This index indicated that genotypes MNC05-847B-123, Azulão-MS, MNC00-595F-27, MNC99-541F-15, MNC05-835B-16 and MNC00-595F-2 are the most promising for producing green grains.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*. Green beans. Factor analysis. Cowpea breeding

## Introdução

O cultivo de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é muito importante em diversos países, pois constitui uma excelente fonte de renda por apresentar baixo custo de produção. Além disso, é considerada uma cultura versátil, pois apresenta adaptação a variadas condições ambientais, especialmente aquelas presentes em regiões de clima tropical, como as do Norte e Nordeste do Brasil. Inclusive, são as produções registradas nessas regiões que contribuem veementemente para que o país seja o principal produtor da América e o quarto do mundo dessa cultura (Freire Filho *et al.*, 2017).

No Brasil, há três segmentos de mercado em relação à comercialização de feijão-caupi: grãos secos, feijão-verde (vagens e grãos verdes) e sementes. O feijão-verde é caracterizado por ser colhido com vagens próximas à maturação, com umidade em torno de 60 a 70% (Oliveira *et al.*, 2001). Neste ponto, o feijão-caupi é colhido e usado para o consumo ou comercializado na forma de vagens ou grãos verdes debulhados (Andrade *et al.*, 2010). Em especial, o mercado de feijão-verde é de grande importância para a região Nordeste e muitas cidades das regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Sousa *et al.*, 2015), constituindo uma alternativa viável para os agricultores familiares e empresariais. Isso porque apresenta preços atrativos para o produtor e representa uma importante opção de negócio, inclusive com possibilidade de avanços no processamento industrial do produto, como enlatamento, resfriamento e congelamento (Silva *et al.*, 2016).

No mercado de feijão-verde, os agricultores têm utilizado cultivares com grãos de variadas cores, pertencentes às classes comerciais branca (predominante), sempre-verde, canapu, mulato, azulão e corujinha. Mais recentemente passou-se a demandar (redes de

restaurantes, supermercados e consumidores) por grãos que mantivessem a coloração esverdeada ou mais clara após o cozimento. Assim, mais uma característica passou a fazer parte dos objetivos dos programas de melhoramento e hoje, a Embrapa Meio Norte conduz experimentos específicos para a obtenção de cultivares de feijão-verde, o que inclusive resultou no lançamento de algumas cultivares, como por exemplo, a BRS Aracê.

No processo seletivo, visando obtenção de cultivares para o mercado de grãos e vagens verdes de feijão-caupi, devem se identificar genótipos com boa resposta produtiva e que possuam atributos que satisfaçam às exigências do produtor e do mercado consumidor. Por isso, é interessante para o melhorista associar vários fenótipos desejáveis em um único genótipo. Para o segmento de vagens e grãos verdes buscando atender à demanda imposta pela agricultura empresarial, as cultivares devem apresentar preferencialmente: crescimento determinado; porte ereto a semiereto; precocidade; maturação uniforme; vagens atrativas, bem granadas, com tamanho de médio a grande e facilidade de debulha; longo período de conservação pós colheita; alta produtividade de vagens e grãos e qualidade nutricional (Sousa, 2013; Sousa *et al.*, 2015). Portanto, a utilização de um índice de seleção constitui-se numa boa alternativa para auxiliar os melhoristas na identificação de genótipos superiores que reúnam vários fenótipos de interesse econômico (Cruz *et al.*, 2014).

Quando são considerados vários caracteres simultaneamente em um programa de melhoramento, a técnica de análise fatorial é uma ferramenta estatística útil para o desenvolvimento de índices de seleção. Com essa metodologia, caracteres inicialmente avaliados são substituídos por um menor número de caracteres latentes, referidos como fatores, os quais são usados para agrupar aqueles de forma a minimizar a variância dentro do grupo e maximizá-la entre grupos (Cruz *et al.*, 2014). O resultado da análise de fatores, quando combinado com a análise de componentes principais, permite descartar caracteres com baixo poder discriminativo de genótipos, permitindo índices mais elaborados (DoVale *et al.*, 2011; Granato *et al.*, 2014).

Nesse contexto, os objetivos deste trabalho foram elaborar um índice seletivo que permita auxiliar na recomendação de cultivares de feijão-caupi para produção de grãos verdes e selecionar os melhores genótipos com base no mesmo.

## Material e Métodos

Foram conduzidos cinco ensaios de valor de cultivo e uso em ambientes distintos no estado do Ceará, nos seguintes municípios: Acaraú (02°53'S, 40°08'W e 16,5 m de altitude) no ano de 2015; Pentecoste (03°49'S, 39°20'W e 45 m de altitude) no ano de 2016; Crato (07°14'S, 39°22'W e 427 m de altitude) no ano de 2016; Mauriti (07°23'S, 38°41'W e 453 m de altitude) e Madalena (04°47'S, 39°39'W e 353 m de altitude), ambos em 2017. Nesses ensaios foram avaliados 20 genótipos de feijão-caupi, que incluíram linhagens superiores e cultivares, pertencentes às subclasses comerciais branca, canapu, azulão, verde e sempre verde, oriundos do Banco Ativo de Germoplasma e do Programa de Melhoramento de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte (Tabela 6). Três cultivares (Vagem Roxa-THE, Azulão-MS e Sempre Verde-CE) bastante cultivadas para produção de feijão-verde, foram utilizadas como testemunhas.

Tabela 6 - Relação dos genótipos de feijão-caupi avaliados, com seus respectivos parentais e/ou procedência e subclasses comerciais.

Nº	Genótipo	Parentais/Procedência	Subclasse Comercial
1	MNC00-586F-303-9 <sup>(1)</sup>	Capela x IT85F-2687	Verde
2	MNC00-595F-2 <sup>(1)</sup>	BRS-Bragança x GV-10-91-1-1	Verde
3	MNC00-595F-27 <sup>(1)</sup>	BRS-Bragança x GV-10-91-1-1	Verde
4	MNC05-835B-15 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
5	MNC05-835B-16 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-2 x MNC99-537F-14-2	Verde
6	MNC05-841B-49 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-9 x MNC99-537F-14-2	Verde
7	MNC05-847B-123 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-11 x MNC99-537-14-2	Verde
8	MNC05-847B-126 <sup>(1)</sup>	MNC00-599F-11 x MNC99-537-14-2	Verde
9	MNC99-541F-15 <sup>(1)</sup>	TE93-210-13F x TE96-282-22G	Branca
10	BRS Guariba <sup>(2)</sup>	IT85F-2687 x TE87-98-8G	Branca
11	BRS Tumucumaque <sup>(2)</sup>	TE96-282-22G x IT87D-611-3	Branca
12	BRS Xiquexique <sup>(2)</sup>	TE87-108-6G x TE87-98-8G	Branca
13	Paulistinha <sup>(2)</sup>	Juazeiro-CE	Canapu
14	Vagem Roxa-THE <sup>(2)*</sup>	Teresina-PI	Branca
15	Azulão-MS <sup>(2)*</sup>	Dourados-MS	Azulão

Continua

Tabela 6 - Relação dos genótipos de feijão-caupi avaliados, com seus respectivos parentais e/ou procedência e subclasses comerciais.

Conclusão

Nº	Genótipo	Parentais/Procedência	Subclasse Comercial
16	Sempre Verde-CE <sup>(2)*</sup>	Fortaleza-CE	Sempre-verde
17	BRS Aracê <sup>(2)</sup>	MNC-599F-11 x MNC99-537F-14-2	Verde
18	Pingo-de-Ouro-1-2 <sup>(1)</sup>	Iguatu-CE	Canapu
19	MNC02-701F-2 <sup>(1)</sup>	TE93-210-13F x (TE96-282-22G x Costelão	Branca
20	MNC99-510F-16-1 <sup>(1)</sup>	Paulista x TE90-180-88F	Sempre-verde

Fonte: elaborada pelo autor.

<sup>(1)</sup>Linhagem, <sup>(2)</sup>Cultivar e \*Testemunha.

Os ensaios foram conduzidos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi similar em todos os ensaios, com dimensões de 3,2 x 5,0 m, composta por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, apresentando como área útil as duas fileiras centrais. Utilizou-se o espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas dentro da fileira, resultando em 20 covas por fileira. Quatro sementes por cova foram semeadas e, aos 15 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova.

No preparo do solo, foram utilizadas práticas convencionais de aração e gradagem, de acordo com a necessidade da área. A adubação foi realizada atendendo às recomendações para o solo da área experimental de cada ambiente, com base na análise química do solo. O controle de pragas e plantas daninhas, quando necessário, foi realizado com aplicação de inseticidas e capinas manuais, respectivamente. A colheita foi conduzida manualmente sempre que as vagens estavam no ponto de maturação para comercialização como feijão-verde, isto é, quando os grãos apresentavam de 60 a 70% de umidade, e observando o padrão de maturação individual para efeito de colheita de cada genótipo.

Em todos os ensaios, foram avaliados os seguintes caracteres: número de dias para o início da floração (NDIF) - número de dias da semeadura a floração de 10% das plantas da área útil da parcela; número de dias para maturação (NDM) - número de dias da semeadura a maturação de 10% das vagens da área útil da parcela; altura da planta (ALT) em cm - média de cinco plantas tomadas aleatoriamente da área útil, com medições realizadas do colo da planta até o último nó do ramo principal; comprimento da vagem verde (COMPV) em cm - média do

comprimento de cinco vagens retiradas aleatoriamente da área útil da parcela; número de grãos da vagem verde (NGV) - média do número de grãos de cinco vagens; massa da vagem verde (MV) em g - média da massa de cinco vagens; massa de grãos da vagem verde (MGV) em g - média da massa de grãos de cinco vagens; massa de cem grãos verdes ( $M_{100G}$ ) em g - calculado por meio da razão entre  $(MGV \times 100)/NGV$ ; índice de grãos (IG) em % - calculado por meio da razão entre  $(MGV/MV) \times 100$ ; produtividade das vagens verdes (PV) estimadas em  $kg\ ha^{-1}$  - massa total das vagens colhidas nas plantas da área útil da parcela; produtividade de grãos verdes (PG) estimados em  $kg\ ha^{-1}$  - massa total dos grãos colhidos na área útil da parcela. Os caracteres NGV, MV, MGV,  $M_{100G}$  e IG foram mensurados com base na amostra das cinco vagens coletadas para mensuração do COMPV.

Os dados avaliados foram submetidos à análise de variância utilizando o seguinte modelo genético-estatístico:  $Y_{ijk} = m + b_k + g_i + a_j + ga_{ij} + e_{ijk}$ , em que,  $Y_{ijk}$  = observação referente ao  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo ambiente e na  $k$ -ésima repetição (bloco);  $m$  = média geral;  $b_k$  = efeito da  $k$ -ésima repetição;  $g_i$  = efeito do  $i$ -ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, 20$ ), considerado como aleatório;  $a_j$  = efeito do  $j$ -ésimo ambiente ( $j = 1, 2, \dots, 5$ ), considerado como aleatório;  $ga_{ij}$  = efeito da interação entre o  $i$ -ésimo genótipo e o  $j$ -ésimo ambiente, considerado como aleatório e;  $e_{ijk}$  = erro experimental associado à observação  $Y_{ijk}$ .

As estimativas das correlações fenotípicas de *Pearson* ( $r_f$ ) entre os caracteres foram

obtidas por meio da seguinte expressão:  $r_f = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$ , em que  $x_1, x_2, \dots, x_n$  e

$y_1, y_2, \dots, y_n$  foram obtidas da matriz de médias dos genótipos nos diferentes ambientes. Estas estimativas foram testadas a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

A importância relativa dos caracteres estudados foi estimada por meio do método dos componentes principais (Singh, 1981). Para a eliminação de caracteres optou-se por descartar os que menos contribuíram para explicar a variância global dos dados entre os genótipos avaliados. Desse modo, para a construção do índice de seleção foram ignorados os caracteres que apresentaram os maiores valores de ponderação nos componentes de menores autovalores.

Em seguida, foram realizadas as análises de fatores utilizando o seguinte modelo:

$X_j = 1_{j1}F_1 + 1_{j2}F_2 + \dots + 1_{jm}F_m + \varepsilon_j$ , em que  $X_j$  é o caráter estimado em cada parcela com  $j = 1, 2, \dots, v$ ,  $1_{jk}$  é a carga fatorial para o  $j$ -ésimo caráter associado ao  $k$ -ésimo fator, sendo  $k=1, 2, \dots, m$ ,

$F_k$  é o  $k$ -ésimo fator comum e  $\varepsilon_j$  é o fator específico associado ao  $j$ -ésimo caráter. A carga fatorial inicial é dada por:  $l_{jk} = \lambda_{ij}^2 V_{ij}^2$ , sendo  $\lambda_{ij}$  o  $i$ -ésimo autovalor maior que 1 obtido da matriz de correlações fenotípicas e  $V_{ij}$  o  $j$ -ésimo valor do  $i$ -ésimo vetor, sendo  $j$  o número de caracteres e  $k$  o número de fatores. A comunalidade é representada por:  $C_j = l_{j1}^2 + l_{j2}^2 + \dots + l_{jm}^2$ . O número de fatores finais considerados para o agrupamento de caracteres foi dado pelo número de autovalores iguais ou superiores a 1. O agrupamento dos caracteres foi feito pelas magnitudes e sinais dos valores observados nas comunalidades, nas cargas fatoriais iniciais e, sobretudo, nas cargas fatoriais finais obtidas após a rotação, indicando que esses caracteres apresentam alta correlação e podem ser agrupados em um mesmo fator. A extração das cargas fatoriais foi feita pelo método dos componentes principais, e os fatores estabelecidos pelo método de rotação *varimax* (Cruz *et al.*, 2014).

Os escores utilizados na confecção dos índices foram obtidos por meio do sistema de equações:  $F_k = b_{1k} X_1 + b_{2k} X_2 + \dots + b_{vk} X_v$ , sendo  $b_{jk}$  ( $k=1,2, \dots, m, j=1,2,\dots, v$ ) o elemento da matriz  $\beta$ , dada por  $\beta = (\Lambda \Lambda')^{-1} \Lambda$ , em que  $\Lambda$  é a matriz de dimensões  $m \times v$  das cargas fatoriais rotacionadas finais e  $\beta$  a matriz de dimensão  $m \times v$  de coeficientes de ponderação dos caracteres para obtenção dos escores dos fatores.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do aplicativo computacional em Genética e Estatística GENES (Cruz, 2013).

## Resultados e Discussão

A análise de variância revelou diferenças significativas ( $p < 0,01$ ) quanto aos efeitos de genótipos e ambientes para todos os caracteres (Tabela 7). Isto indica diferenças nas respostas relativas dos genótipos para os caracteres avaliados e que os ambientes usados nos ensaios promoveram desempenho diferenciado entre os genótipos. O efeito da interação genótipos x ambientes também foi significativo para quase todos os caracteres, com exceção apenas de altura de planta. Assim, evidencia-se que os genótipos apresentaram distintas respostas quanto aos caracteres estudados nos diferentes ambientes avaliados.

Os coeficientes de variação (CV's) foram baixos para a maioria dos caracteres, o que denota alta confiabilidade nas estimativas geradas neste estudo. Ademais, condizem com as estimativas observadas em outros estudos com feijão-caupi com enfoque na produção de feijão-verde (Silva *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2015; Sousa *et al.*, 2015). Os maiores CV's foram

observados para as produtividades de vagens e grãos verdes. Há duas explicações plausíveis para isso: 1) a produtividade é um caráter complexo controlado por vários genes com possíveis interações alélicas e gênicas. É altamente influenciada pelo ambiente e qualquer alteração detectada nas variáveis climáticas como luz solar, umidade do solo, umidade relativa do ar e temperatura, que são críticas durante a formação e o desenvolvimento das sementes de feijão-caupi, podem resultar em variação intra e interbloco; 2) as duas produtividades (vagens e grãos verdes) apresentaram alta umidade, podendo decrescer diferentemente durante o transporte para aferição em laboratório.

Tabela 7 - Resumo das análises de variância dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), altura de planta (ALT), comprimento de vagem verde (COMPV), número de grãos da vagem verde (NGV), massa de vagem verde (MV), massa de grãos da vagem verde (MGV), índice de grãos (IG), massa de cem grãos verdes (M<sub>100</sub>G), produtividade de vagens verdes (PV) e produtividade de grãos verdes (PG), avaliados em 20 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de grãos verdes em cinco localidades no estado do Ceará, 2018.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS										
		NDIF	NDM	ALT	COMPV	NGV	MV	MGV	IG	M <sub>100</sub> G	PV	PG
Blocos	3	2,576	1,816	36,306	5,022	8,691	2,265	0,663	174,169	20,011	1894760,6	368832,1
Genótipos (G)	19	12,226**	15,577**	6,295**	10,5317**	16,575**	21,363**	5982**	380,397**	355,742**	1911194,3**	828533,9**
Ambientes (A)	4	1007,838**	820,896**	2150,510**	31,663**	69,928**	38,070**	8726**	720,694**	89,670**	25135715,4**	9905440,7**
G x A	76	4,218**	6,242**	9,437 <sup>ns</sup>	2,931**	3,019**	2,319**	0,699*	60,370**	22,891*	533190,4**	248812,9**
Resíduos	297	2,418	2,387	8,640	1,835	2,107	1,526	0,520	37,20764	15,476	349726,1	158262,3
Média		43,5	56,3	23,45	21,38	14,31	7,32	5,07	70,44	35,710	1489,0	926,45
CV(%)		3,6	2,7	15,5	6,3	10,1	16,9	14,2	8,7	11,1	39,7	32,9

Fonte: elaborada pelo autor.

\*\* , \* e <sup>ns</sup> significativos a  $p < 0.01$ , a  $p < 0.05$  e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

As análises de correlações revelaram que os cultivares mais precoces tendem a maturar mais rapidamente e apresentar menor altura de planta. Pois o caráter número de dias para o início da floração apresentou correlação positiva com o número de dias para maturação, e negativa com a altura de planta (Tabela 8). Oliveira *et al.* (2017) avaliaram o ganho genotípico com seleção simultânea para produção de feijão-caupi e outros caracteres, e também observaram estimativas de correlações elevadas e positivas entre o par de caracteres número de dias para o início da floração e número de dias para maturação. De acordo com Andrade *et al.* (2010), a seleção de genótipos produtivos de feijão-caupi para grãos verdes é facilitada quando se consideram indiretamente aqueles precoces, diferentemente do que ocorre quando considerado os tardios.

Tabela 8 - Coeficientes de correlações fenotípicas de *Pearson* ( $r_f$ ) entre os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), altura de planta (ALT), comprimento de vagem verde (COMPV), número de grãos da vagem verde (NGV), massa de vagem verde (MV), massa de grãos da vagem verde (MGV), índice de grãos (IG), massa de cem grãos verdes (M<sub>100G</sub>), produtividade de vagens verdes (PV) e produtividade de grãos verdes (PG), avaliados em 20 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de grãos verdes em cinco localidades no estado do Ceará, 2018.

	NDM	ALT	COMPV	NGV	MV	MGV	IG	M <sub>100G</sub>	PV	PG
NDIF	0,87**	-0,77**	-0,25*	0,07	0,06	-0,08	-0,23*	-0,16	0,09	0,11
NDM		-0,51**	-0,28*	0,06	0,06	-0,02	-0,13	-0,08	-0,06	-0,06
ALT			0,28*	0,15	0,16	0,33*	0,17	0,26*	0,04	-0,02
COMPV				0,55**	0,56**	0,54**	-0,29*	0,14	0,36*	0,31*
NGV					0,35*	0,42*	-0,05	-0,34*	0,37*	0,33*
MV						0,85**	-0,64**	0,59**	0,45*	0,36*
MGV							-0,16	0,71**	0,39*	0,33*
IG								-0,11	-0,29*	-0,24*
M <sub>100G</sub>									0,09	0,05
PV										0,94**

Fonte: elaborada pelo autor.

\*\* e \* significativos a  $p < 0.01$  e  $p < 0.05$ , respectivamente, pelo teste t.

A correlação positiva e de alta magnitude entre produtividade de grãos verdes e produtividade de vagens verdes, evidencia que este último deve ser o componente que mais contribui para produção de grãos verdes em feijão-caupi, indicando que a seleção de genótipos com maior rendimento de vagens verdes implicará em aumento do rendimento de grãos verdes. Devido à produção ser um caráter complexo e influenciado por uma série de outros, o

conhecimento da correlação auxilia na identificação da importância dos caracteres que influenciam a produtividade (Sapara & Javia, 2014).

Na análise de componentes principais, o percentual de variância acumulada pelos três primeiros componentes foi de 82,66% (Tabela 9). Esse percentual é considerado suficiente para interpretação dos dados com acurácia (Nascimento *et al.*, 2009; Cruz *et al.*, 2014). Assim, observando a análise dos últimos autovetores, isto é, do último até aquele em que o valor do autovetor obtido da matriz de correlação é inferior a 0,7, os caracteres número de dias para maturação, massa de grãos da vagem verde, produtividade de grãos verdes, número de grãos da vagem verde e massa de cem grãos verdes foram identificados como passíveis de descarte. A possibilidade de descarte dos três primeiros caracteres, justifica-se por estes apresentarem, respectivamente, alta correlação com número de dias para o início da floração, massa da vagem verde e produtividade de vagens verdes (Tabela 8). Quanto ao caráter número de grãos da vagem verde, pode o mesmo ser descartado por apresentar correlação moderada com o comprimento da vagem verde, pois subentende-se que à medida que o comprimento da vagem verde aumenta, a mesma poderá, conseqüentemente, apresentar maior número de grãos nas vagens. A massa de cem grãos, no entanto, não deve ser desconsiderada, pois é importante na avaliação do tamanho do grão, já que as escalas de classificação do tamanho de grãos de feijão-caupi são baseadas na massa de cem grãos. Ademais, o tamanho do grão é uma característica comercial importante, pois há preferência dos consumidores por feijão-verde com grãos grandes (Freitas *et al.*, 2016).

Tabela 9 - Estimativas dos autovalores e da fração cumulativa da variância explicada pelos componentes principais envolvendo os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), altura de planta (ALT), comprimento de vagem verde (COMPV), número de grãos da vagem verde (NGV), massa de vagem verde (MV), massa de grãos da vagem verde (MGV), índice de grãos (IG), massa de cem grãos verdes (M<sub>100G</sub>), produtividade de vagens verdes (PV) e produtividade de grãos verdes (PG), avaliados em 20 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de grãos verdes em cinco localidades no estado do Ceará, 2018.

$\lambda_j$	$\lambda_j$ (%)	NDIF	NDM	ALT	COMPV	NGV	MV	MGV	IG	M <sub>100G</sub>	PV	PG
3,949	35,902	0,280	0,261	-0,329	-0,453	-0,402	-0,201	-0,361	-0,127	-0,085	-0,333	-0,271
3,012	63,287	0,390	0,384	-0,245	0,005	0,134	0,487	0,342	-0,403	0,313	0,080	0,039
2,131	82,661	0,281	0,111	-0,350	-0,074	0,262	-0,165	-0,171	0,093	-0,479	0,446	0,467
0,824	90,155	0,163	0,422	0,196	-0,206	-0,095	-0,229	0,236	0,653	0,376	0,090	0,144
0,638	95,955	0,208	0,247	-0,060	0,373	0,467	-0,076	0,084	0,267	-0,308	-0,287	-0,523
0,246	98,190	0,032	0,524	0,552	0,345	-0,151	-0,146	-0,254	-0,344	-0,148	-0,046	0,225

Continua

Tabela 9 - Estimativas dos autovalores e da fração cumulativa da variância explicada pelos componentes principais envolvendo os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), altura de planta (ALT), comprimento de vagem verde (COMPV), número de grãos da vagem verde (NGV), massa de vagem verde (MV), massa de grãos da vagem verde (MGV), índice de grãos (IG), massa de cem grãos verdes (M<sub>100G</sub>), produtividade de vagens verdes (PV) e produtividade de grãos verdes (PG), avaliados em 20 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de grãos verdes em cinco localidades no estado do Ceará, 2018.

Conclusão

$\lambda_j$	$\lambda_j$ (%)	NDIF	NDM	ALT	COMPV	NGV	MV	MGV	IG	M <sub>100G</sub>	PV	PG
0,112	99,211	0,138	-0,012	0,312	-0,185	-0,052	0,063	-0,109	-0,063	-0,054	0,701	-0,577
0,055	99,710	0,192	-0,140	-0,344	0,598	-0,349	-0,438	0,055	-0,068	0,290	0,231	-0,095
0,025	99,938	-0,622	0,438	-0,368	0,173	-0,187	0,310	-0,182	0,201	-0,038	0,201	-0,102
0,006	99,988	-0,421	0,214	-0,104	-0,257	0,332	-0,568	0,309	-0,384	0,088	0,079	-0,100
0,001	0,000	0,016	-0,022	-0,032	0,024	0,482	-0,028	-0,673	0,005	0,558	0,006	0,014

Fonte: elaborada pelo autor.

Por meio da análise de fatores buscou-se obter fatores relacionados aos caracteres que contribuem para produtividade de feijão-verde. Por conseguinte, utilizaram-se os três primeiros componentes principais para agrupamento dos caracteres, pois concentraram mais de 80% da variação total. As comunalidades, que retratam a proporção da variância do caráter padronizado (Granato *et al.*, 2014), apresentaram valores maiores que 0,7, com exceção do índice de grãos (0,571). De acordo com Souza (1988), valores de comunalidades superiores a 0,64 têm sido aceitos como razoáveis, pois equivalem a uma correlação próxima de 0,80 entre a variável padronizada ( $X_j$ ) e a parte comum que explica esta variável ( $Z_j$ ). Assim, a alta eficiência da representação das variáveis por uma parte comum é evidente, exceto para o caráter índice de grãos, em virtude de sua baixa comunalidade, tornando inadequado a discriminação do desempenho dos genótipos com base apenas nesse caráter.

O agrupamento dos caracteres foi feito pelas magnitudes e sinais dos valores observados nas comunalidades, nas cargas fatoriais iniciais e, sobretudo, nas cargas fatoriais finais obtidas após a rotação (Tabela 10).

Tabela 10 - Comunalidade, cargas fatoriais iniciais e finais, estimadas para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), altura de planta (ALT), comprimento de vagem verde (COMPV), número de grãos da vagem verde (NGV), massa de vagem verde (MV), massa de grãos da vagem verde (MGV), índice de grãos (IG), massa de cem grãos verdes (M<sub>100G</sub>), produtividade de vagens verdes (PV) e produtividade de grãos verdes (PG), avaliados em 20 genótipos de feijão-caupi destinados à produção de grãos verdes em cinco localidades no estado do Ceará, 2018.

Caráter	Comunalidade	Grupo	Cargas iniciais			Cargas finais		
			Fatores			Fatores		
			1	2	3	1	2	3
NDIF	0,935	1	0,556	0,677	0,410	-0,046	0,966	-0,028
NDM	0,840		0,519	0,667	0,162	-0,190	0,830	-0,125
ALT	0,870	2	-0,654	-0,425	-0,511	-0,234	-0,903	0,007
COMPV	0,822	3	-0,900	0,009	-0,108	-0,428	-0,594	0,535
NGV	0,839		-0,799	0,133	-0,383	-0,280	-0,473	0,855
MV	0,933	4	-0,699	0,846	-0,241	-0,912	-0,210	0,238
MGV	0,930		-0,718	0,594	-0,250	-0,860	-0,157	0,407
IG	0,571	5	-0,252	-0,699	0,136	0,485	-0,559	0,152
M <sub>100G</sub>	0,812	6	-0,168	0,543	-0,700	-0,850	-0,045	-0,296
PV	0,881	7	-0,661	0,138	0,651	0,008	-0,036	0,938
PG	0,798		-0,538	0,068	0,681	0,110	0,006	0,864

Fonte: elaborada pelo autor.

As correlações entre os caracteres dentro dos grupos foram de média a alta magnitude, sendo possível desconsiderar aqueles com relativa dificuldade na mensuração e/ou redundantes dentro de cada grupo, como: número de dias para maturação (grupo 1), número de grãos da vagem verde (grupo 3), massa de grãos da vagem verde (grupo 4) e produtividade de grãos (grupo 7). A relativa dificuldade considerada no descarte dos três últimos caracteres refere-se à necessidade de realizar o beneficiamento (debulha da vagem) para obtenção dos dados, enquanto a dificuldade referente ao número de dias para maturação da vagem baseia-se na análise visual da mudança de cor, sendo necessário observar o padrão de maturação individual de cada genótipo, em que alguns necessitam de maior atenção quanto à pigmentação da vagem, como por exemplo, os genótipos que possuem vagem roxa. Ademais, o descarte desses quatro caracteres na construção do índice ratifica a sugestão de descarte obtida pela análise de componentes principais.

Os índices de seleção propostos no presente estudo foram construídos desconsiderando-se os caracteres de difícil mensuração e os que não foram adequados para a discriminação de genótipos, como o índice de grãos. Neste sentido, para elaborar o índice que possibilitasse a indicação de genótipos com potencial para produção de grãos verdes, utilizou-se o fator 3, pois o mesmo atribuiu os maiores pesos e sinais favoráveis aos caracteres de maior

importância para a produção de grãos-verdes. Assim, o índice recomendado foi:  $I_3 = 0,079 \text{ NDIF} - 0,083 \text{ ALT} + 0,119 \text{ COMPV} + 0,034 \text{ MV} - 0,176 \text{ M}_{100}\text{G} + 0,340 \text{ PV}$ , em que NDIF, ALT, COMPV, MV, PV e  $\text{M}_{100}\text{G}$ , correspondem ao número de dias para o início da floração, altura da planta, comprimento, massa e produtividade das vagens e massa de cem grãos verdes, respectivamente. A escolha dos caracteres para compor o índice, corrobora com Rodrigues *et al.* (2017), que consideraram o número de dias para floração, a massa da vagem e a massa de cem grãos, caracteres de importância primária para predição de ganhos genéticos em feijão-caupi.

Os genótipos indicados para a produção de grãos verdes foram recomendados com base nos escores gerados com o índice de seleção para cada material genético avaliado (Tabela 11). Assim, com base nestes valores, os genótipos com melhores desempenhos para produção de grãos verdes foram a linhagem MNC05-847B-123 e a cultivar Azulão-MS, seguidas das linhagens MNC00-595F-27, MNC99-541F-15, MNC05-835B-16 e MNC00-595F-2. A linhagem MNC05-847B-123 apresentou comportamento superior a todas as testemunhas, enquanto as demais linhagens (MNC00-595F-27, MNC99-541F-15, MNC05-835B-16 e MNC00-595F-2) foram superadas apenas pela testemunha comercial Azulão-MS. Ressalta-se ainda que, dentre os genótipos com melhores desempenhos, as linhagens MNC05-847B-123, MNC00-595F-27, MNC05-835B-16 e MNC00-595F-2 pertencem à subclasse comercial verde (Tabela 6). Essa subclasse apresenta tegumento e cotilédones verdes, aspecto que confere maior capacidade de preservação da cor verde pós-colheita quando comparada às demais subclasses comerciais, sendo um indicativo do potencial para o mercado de feijão-verde. Portanto, pode-se inferir, com base nos resultados, que esses genótipos representam boas alternativas para a recomendação de cultivo como feijão-verde. Assim, espera-se que as referidas linhagens sejam registradas em breve para compor a lista de cultivares recomendadas para a produção de feijão-verde.

Tabela 11 - Valores médios dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), massa da vagem verde (MV), comprimento da vagem verde (COMPV), massa de cem grãos verdes ( $M_{100G}$ ), produtividade de grãos verdes (PV) e altura de planta (ALT), componentes do índice de seleção, e escores gerados a partir do índice para os 20 genótipos de feijão caupi destinados à produção de grãos verdes em cinco localidades no estado do Ceará, 2018.

	Valores médios						Scores IR
	NDIF	MV	COMPV	$M_{100G}$	PV	ALT	
MNC00-586F-303-9	43,05	8,32	21,77	38,78	1420,15	24,78	480,24
MNC00-595F-2	43,45	7,03	21,43	34,27	1657,00	21,18	561,81
MNC00-595F-27	44,45	6,85	21,98	31,55	1850,25	22,18	628,05
MNC05-835B-15	43,55	6,73	21,14	33,92	1599,80	21,78	542,34
MNC05-835B-16	43,40	7,40	21,78	35,29	1687,65	21,10	572,11
MNC05-841B-49	44,65	6,69	20,80	32,67	1356,20	20,39	459,90
MNC05-847B-123	43,65	7,21	20,82	35,87	1951,70	24,43	661,41
MNC05-847B-126	43,20	6,77	20,94	32,64	1611,90	22,99	546,53
MNC99-541F-15	43,10	7,08	21,18	36,76	1790,95	26,20	606,44
BRS Guariba	42,50	6,57	19,95	38,96	1492,85	23,98	504,68
BRS Tumucumaque	41,85	7,66	22,76	44,28	1295,45	24,42	436,91
BRS Xiquexique	43,85	6,23	20,80	31,03	749,80	25,06	253,54
Paulistinha	42,90	8,74	22,18	39,76	1651,40	25,74	558,67
Vagem Roxa-THE	42,60	5,85	21,76	27,70	1033,95	24,02	350,83
Azulão-MS	45,25	10,42	22,56	39,74	1871,65	23,04	634,07
Sempre Verde-CE	43,70	7,92	21,65	38,11	1604,70	25,75	543,05
BRS Aracê	43,50	6,51	20,91	31,29	1488,20	20,44	504,93
Pingo-de-Ouro-1-2	43,05	7,83	20,13	41,29	1359,70	24,25	459,08
MNC02-701F-2	44,15	6,61	21,57	31,51	1006,25	24,04	340,86
MNC99-510F-16-1	43,90	7,98	21,65	38,75	1300,55	23,34	439,75

Fonte: elaborada pelo autor

## Conclusões

A recomendação de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes, pode ser realizada pelo índice de seleção  $I_3 = 0,079 \text{ NDIF} - 0,083 \text{ ALT} + 0,119 \text{ COMPV} + 0,034 \text{ MV} - 0,176 \text{ M}_{100G} + 0,340 \text{ PV}$ . Pelo índice de seleção, as linhagens MNC05-847B-123, MNC00-595F-27, MNC99-541F-15, MNC05-835B-16 e MNC00-595F-2, e cultivar Azulão-MS são as mais promissoras e podem ser recomendadas para a produção de grãos verdes.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F.N. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.; REGAZZI, A.D. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. Ed. v. 2, Viçosa-MG, 2014. 668p.
- DOVALE, J.C., FRITSCHÉ-NETO, R.; SILVA, P.S.L. Índice de seleção para cultivares de milho com dupla aptidão: minimilho e milho verde. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 781-787, 2011.
- FREIRE FILHO, F.R. *et al.* A cultura: Aspectos socioeconômicos. In: DoVALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, Minas Gerais: UFV, 2017. p.9-34.
- FREITAS, T.G.G. *et al.* Green bean yield and path analysis in cowpea landraces. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 866-877, 2016.
- GRANATO, I.S.C. *et al.* Index selection of tropical maize genotypes for nitrogen use efficiency. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p. 153-159, 2014.
- NASCIMENTO, M. *et al.* Alteração no método de centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 263-269, 2009.
- OLIVEIRA, A.P. *et al.* Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 81-84, 2001.
- OLIVEIRA, D.G. *et al.* Genotypic gain with simultaneous selection of production, nutrition, and culinary traits in cowpea crosses and backcrosses using mixed models. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 3, p. 1-11, 2017.
- RAMOS, D.P. *et al.* Avaliação de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes em Gurupi, Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 160-164, 2015.
- RODRIGUES, E.V. *et al.* Selection of cowpea populations tolerant to water deficit by selection index. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 889-896, 2017.
- SAPARA, G.K.; JAVIA, R.M. Correlation and path analysis in vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L.). **International journal of plants sciences**, Muzaffarnagar, v. 9, n. 1, p. 138-141, 2014.
- SILVA, E.D. *et al.* Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em serra Talhada-PE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 21-26, 2013.

SILVA, K.J.D.; ROCHA, M. de M.; JÚNIOR, J.A.N. de M. Socioeconomia. In: BASTOS, E.A. (Ed.). **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016. p.6-12.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, Nova Deli, v. 41, p. 237-245, 1981.

SOUSA, J.L.M. *et al.* Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 50, n. 5, p. 392-398, 2015.

SOUSA, J.L.M. **Seleção de genótipos de feijão-caupi em condições de sequeiro e irrigado para o mercado de vagens e grãos verdes**. 2013. 63p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

SOUZA, J. **Métodos estatísticos nas ciências psicossociais**. Brasília, Thesaurus. 1988. 525p

#### 4. CONCLUSÃO GERAL

As linhagens MNC05-847B-123 e MNC00-595F-27 apresentaram adaptabilidade e estabilidade produtiva e, portanto, são as mais recomendadas para produção de grãos verdes de feijão-caupi no estado do Ceará. O índice  $I = 0,079 \text{ NDIF} - 0,083 \text{ ALT} + 0,119 \text{ COMPV} + 0,034 \text{ MV} - 0,176 \text{ M}_{100}\text{G} + 0,340 \text{ PV}$ , indicou os genótipos MNC05-847B-123, Azulão-MS, MNC00-595F-27, MNC99-541F-15, MNC05-835B-16 e MNC00-595F-2 como aqueles de maior potencial agrônômico. Portanto, o índice reitera que as duas linhagens (MNC05-847B-123 e MNC00-595F-27) são promissoras para a produção de grão verdes no estado do Ceará.

## REFERÊNCIAS

- ADEWALE, B.D. *et al.* Genotypic variability and stability of some grain yield componentes of Cowpea. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 5, n. 9, p. 874-880, 2010.
- ALMEIDA, W.S. **Potencial de genótipos de feijão-caupi para produção de feijão-verde no norte do estado do Ceará**. 2013. 80f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ANDRADE, F.N. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.
- BARROS, L. M. A. *et al.* Bayesian approach increases accuracy when selecting cowpea genotypes with high adaptability and phenotypic stability. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 1, p. 1-11, 2016.
- BERTINI, C.H.C.M. *et al.* Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 613-619, 2010.
- BLANCHE, S. B.; MYERS, G. O. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 946-949. 2006.
- CARVALHO, L. C. B. **Interpretação da interação genótipos x ambientes em feijão-caupi usando modelos multivariados, mistos e covariáveis ambientais**. 2015. 115 F. Tese (Doutorado: Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2015.
- CARVALHO, L.C.B. *et al.* Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 11, n. 12, p. 990-1000, 2016.
- CEASA. Centrais de abastecimento do Ceará. **Histórico de oferta de produtos em 2016**. Disponível em: < <http://www.ceasa-ce.com.br/index.php/historicoofertas>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2016/17 – Nono levantamento. v. 4. 2017. 161p. Disponível em:<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_06\\_08\\_09\\_02\\_48\\_boletim\\_graos\\_junho\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_06_08_09_02_48_boletim_graos_junho_2017.pdf)> Acesso em: 15 set. 2017.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá. v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.; REGAZZI, A.D. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. 668 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v.1, UFV, Viçosa-MG, 2012, 514p.

DOVALE, J.C., FRITSCHÉ-NETO, R.; SILVA, P.S.L. Índice de seleção para cultivares de milho com dupla aptidão: minimilho e milho verde. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 781-787, 2011.

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

FREITAS, T.G.G. *et al.* Green bean yield and path analysis in cowpea landraces. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 866-877, 2016.

GRANATO, I.S.C. *et al.* Index selection of tropical maize genotypes for nitrogen use efficiency. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p. 153-159, 2014.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Política Agrícola, Portaria Nº 126, agosto, 2017.

MUTHONI, J.; SHIMELIS, H.; MELIS, R. Genotype x Environment interaction and stability of potato tuber yield and bacterial wilt resistance in Kenya. **American Journal of Potato Research**, v. 92, n. 3, p. 367-378, 2015.

NASCIMENTO, M. *et al.* Alteração no método de centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 263-269, 2009.

OLIVEIRA *et al.* Adaptability and stability of the zinc density in cowpea genotypes through GGE-Biplot method. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 3, p. 367-378, 2017.

OLIVEIRA, A. P. *et al.* Avaliação de linhagens e cultivares de feijão-caupi, em Areia, PB. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 20, p.180-182, 2002.

OLIVEIRA, A.P. *et al.* Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 81-84, 2001.

OLIVEIRA, D.G. *et al.* Genotypic gain with simultaneous selection of production, nutrition, and culinary traits in cowpea crosses and backcrosses using mixed models. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 3, p. 1-11, 2017.

PIMENTEL, A. B. J. *et al.* Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 11, p. 882-890, 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing Vienna**. R Foundation for Statistical Computing Vienna, 2014.

RAMOS, D.P. *et al.* Avaliação de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes em Gurupi, Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 5, p. 160-164, 2015.

RAMOS, H.M.M. *et al.* Produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 683-694, 2014.

RESENDE, D.M.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROCHA, M. M. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi quanto à produção de grãos frescos, em Teresina-PI. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 14, n. 1, p. 40-55, 2012.

ROCHA, M.M.; SILVA, K.J.D.; FREIRE FILHO, F.R.; MENEZES JUNIOR, J.A.N. Cultivo do feijão-caupi: cultivares. **Sistema de produção da Embrapa**, 2017. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em: 10 jul. 2018.

ROCHA, M.M. O feijão-caupi para consumo na forma de grãos frescos. 2009. **Agrosoft Brasil**. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/574539>> Acesso em: 10 jul. 2018.

RODRIGUES, E.V. *et al.* Selection of cowpea populations tolerant to water deficit by selection index. **Revista Ciência Aagrônômica**, Fortaleza, v. 48, n. 5, p. 889-896, 2017.

SANTOS *et al.* GGE Biplot projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 1, p. 22-31, 2017b.

SANTOS, *et al.* Selection of cowpea genotypes for Mato Grosso do Sul via GGE biplot and linear regression. **Bioscienc Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 3, p. 631-638, 2017a.

SANTOS, J.A.S. *et al.* Agronomic performance and genetic dissimilarity among cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes. **Global Advanced Research Journal of Agricultural Science**, v. 3, p. 271-277, 2014.

SAPARA, G.K.; JAVIA, R.M. Correlation and path analysis in vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L.). **International journal of plants sciences**, Muzaffarnagar, v.9, n. 1, p.138-141, 2014.

SILVA, E.D. *et al.* Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em serra Talhada-PE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 21-26, 2013.

SILVA, K.J.D.; ROCHA, M.M.; JÚNIOR, J.A.N.M. Socioeconomia. In: BASTOS, E.A. (Ed.). **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016. p. 6-12.

SILVA, R.R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1404-1412, 2012.

SILVEIRA, M.A. *et al.* Estratégia de comercialização do feijão-caupi produzido por agricultores familiares: Um estudo de caso na região leste de Goiás. **Conjuntura econômica goiana**, n. 30, p. 36-54, 2014.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, Nova Deli, v. 41, p. 237-245, 1981.

SOUSA, J. L. M. **Seleção de genótipos de feijão-caupi em condições de sequeiro e irrigado para o mercado de vagens e grãos verdes**. 2013. 64 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento: Área de concentração Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

SOUSA, J.L.M. *et al.* Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 392-398, 2015.

SOUSA, M. B. *et al.* Genotype by environment interaction in cowpea lines using gge biplot method. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 64-71, 2018.

SOUZA, J. **Métodos estatísticos nas ciências psicossociais**. Brasília, Thesaurus. 1988. 525p.

YAN, W. *et al.* GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 641-653, 2007.

YAN, W. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data analysis. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, New Delhi, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

YAN, W.; HOLLAND, J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, Dordrech, v. 171, n. 3, p. 355-369, 2010.

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

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

**ANEXO A – RESULTADO DA ANÁLISE DA AMOSTRA DE SOLO DAS ÁREAS  
EXPERIMENTAIS**

Parâmetros do solo	Municípios				
	Acaraú	Pentecoste	Crato	Mauriti	Madalena
MO (g/Kg)	3,93	11,79	4,76	7,65	9,41
pH (em água)	6,94	5,8	5,2	4,6	5,4
P (mg/Kg)	6,0	21	2	6	5
K (cmol <sub>c</sub> /Kg)	0,15	0,35	0,13	0,14	0,31
Ca (cmol <sub>c</sub> /Kg)	0,8	3,50	0,50	0,40	2,40
Mg (cmol <sub>c</sub> /Kg)	0,8	1,30	0,40	0,30	1,90
Na (cmol <sub>c</sub> /Kg)	0,05	0,09	0,03	0,03	0,09
Al (cmol <sub>c</sub> /Kg)	0,05	0,10	0,30	1,35	0,35
H + Al (cmol <sub>c</sub> /Kg)	0,5	2,15	1,82	2,48	2,48
S (cmol <sub>c</sub> /Kg)	1,8	5,2	1,1	0,9	4,7
V (%)	78	70	38	27	65
m (%)	3	2	21	60	7

Fonte: laboratório de solos/água UFC/FUNCEME.