

Belém, PA / Maio, 2024

Seleção preliminar de linhagens de segundo ciclo de melhoramento de feijão-caupi do tipo manteiguinha na Amazônia Oriental

Rui Alberto Gomes Junior⁽¹⁾, Alessandra de Jesus Boari⁽¹⁾, Marco Antônio de Amorim Peixoto⁽²⁾, Ruth Linda Benchimol⁽¹⁾, Breno Porto de Oliveira Cunha⁽³⁾, Natalia Lopes de Sousa⁽³⁾, João Paulo Amaral da Silva⁽³⁾, Rogerio Tavares da Silva⁽³⁾, Elisa Rafaela Moraes de Sousa⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. ⁽²⁾ Estudante de doutorado da Universidade Federal de Viçosa, pesquisador visitante da Universidade da Flórida, Flórida, Estados Unidos. ⁽³⁾ Estudantes de graduação da Universidade Federal Rural da Amazônia, estagiários na Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. ⁽⁴⁾ Estudante de graduação da Universidade Federal Rural da Amazônia, bolsista (iniciação científica – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) na Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.

Resumo – O feijão-caupi possui elevada importância agrícola e alimentar no Brasil. No estado do Pará, é cultivado um tipo comercial conhecido como manteiguinha, caracterizado por apresentar grãos extrapequenos e coloração creme. Uma limitação tecnológica desse tipo comercial é a carência de cultivares comerciais, pois os agricultores estão limitados à utilização de cultivares crioulas. A Embrapa lançou em 2023 a primeira cultivar do tipo manteiguinha, denominada BRS Natalina. Entre 2016 e 2021, foram realizadas sete safras de pesquisas de campo e laboratório em Belém, PA, com o objetivo de desenvolver linhagens superiores à BRS Natalina. A partir de três cruzamentos, com seleção para resistência a vírus, porte da planta ajustado à colheita mecanizada, precocidade de maturação, produtividade e qualidade de grãos, foram abertas 96 linhagens na geração F_4 . Na geração $F_{4,5}$, foram selecionadas 35 linhagens, com base em caracteres de maior herdabilidade. Na geração $F_{5,6}$, foi conduzida a segunda avaliação preliminar, onde foram selecionadas 23 linhagens com base na totalidade de caracteres avaliados. Os resultados foram promissores, pelos quais os caracteres supracitados foram contemplados na seleção preliminar dessas linhagens, que deverão avançar para a próxima etapa do melhoramento genético, visando o desenvolvimento de novas cultivares do tipo manteiguinha.

Termos para indexação: *Vigna unguiculata*, melhoramento genético, qualidade de grãos, produtividade de grãos, porte da planta, resistência a vírus.

Preliminary selection of second-generation cowpea lines of the manteiguinha type in the Eastern Amazon

Abstract – Cowpea has high agricultural and food importance in Brazil. In Pará state, a commercial type is cultivated, known as manteiguinha beans, characterized by the grains of size extra-small and cream color.

Embrapa Amazônia Oriental
Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n.
66095-903 – Belém, PA.
www.embrapa.br/amazonia-oriental
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Bruno Giovany de Maria

Secretária-executiva

Narjara de Fátima Galiza da Silva

Pastana

Membros

Alexandre Mehl Lunz, Andréa

Liliane Pereira da Silva, Anna

Christina Monteiro Roffê Borges,

Gladys Beatriz Martínez, Laura

Figueiredo Abreu, Patricia de

Paula Ledoux Ruy de Souza,

Vitor Trindade Lôbo, Walnice

Maria Oliveira do Nascimento

Edição executiva e revisão de texto

Narjara de Fátima Galiza da Silva

Pastana

Normalização bibliográfica

Luiza de Marillac P. Braga

Gonçalves (CRB-2/495)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Vitor Trindade Lôbo

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

A technological limitation of this commercial type is the lack of commercial cultivars, as farmers are limited to landraces. Embrapa has released the first cultivar of the manteiguinha type in 2023, called BRS Natalina. Between 2016 and 2021, seven crops of field and laboratory research were carried out in Belém, PA, with the objective of developing lines superior to BRS Natalina. From three crosses, with selection for virus resistance, plant set adjusted to the mechanized harvest, maturation precocity, grain yield and grain quality, 96 lines were opened in the F_4 generation. In the $F_{4,5}$ generation, 35 lines were selected, based on traits with greater heritability. In the $F_{5,6}$ generation, the second preliminary evaluation was carried out, where 23 lines were selected based on the totality of evaluated traits. The results were promising, the traits aforementioned were considered in the preliminary selection of these lines, which should advance to the next step of genetic improvement, aiming the development of new cultivars of the manteiguinha type.

Index terms: *Vigna unguiculata*, genetic breeding, grain quality, grain yield, plant set, virus resistance.

Introdução

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], também conhecido como feijão-de-corda, feijão-macaça, feijão-de-praia e feijão-miúdo, é uma planta dicotiledônea, que possui como centro primário de diversidade a África. Essa leguminosa é uma importante fonte de proteína, bastante cultivada nos trópicos, incluindo África, Ásia, Oriente Médio, América do Sul e América Central. É uma espécie autógama e diploide, com $2n = 2x = 22$ cromossomos (Freire Filho, 2011).

Os principais tipos de feijões cultivados e consumidos no Brasil, feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e feijão-caupi, representam importantes fontes de nutrientes na dieta da população brasileira e mundial, possuindo elevados teores de proteínas, calorias, fibras, vitaminas e minerais (Phillips et al., 2003). No Brasil, devido às questões climáticas, o feijão-comum é predominantemente produzido nas regiões Sul e Sudeste e o feijão-caupi nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte (Freire Filho, 2011). O Brasil produziu 3,23 milhões de toneladas de feijões na safra 2020/2021, em que o feijão-caupi representou 712 mil toneladas (CONAB, 2022). A diferença de produtividade na safra 2020/2021 foi marcante, quando se compara o Norte-Nordeste (500 kg ha^{-1}), que planta predominantemente feijão-caupi, em relação ao Centro-Sul (1.796 kg ha^{-1}), que

planta predominantemente o feijão-comum. Uma limitação tecnológica é a menor disponibilidade de cultivares de feijão-caupi recomendadas aos agricultores. Entre 2000 e 2020, foram lançadas ou registradas no Brasil 47 cultivares de feijão-comum e 28 cultivares de feijão-caupi (Brasil, 2021). Dessa forma, é fundamental o desenvolvimento de novas cultivares de feijão-caupi, para promover a consolidação e expansão da produção no Norte-Nordeste.

Devido a diversos fatores, incluindo a oferta limitada de sementes melhoradas de alta qualidade, a produção de feijão (caupi e comum) no estado do Pará reduziu significativamente na última década, cuja redução entre 2010 e 2019 da área plantada e produção de feijão-caupi e feijão-comum foi de cerca de 48,9 e 42,7%, respectivamente (CONAB, 2022). Considerando o consumo per capita referente à média nacional de 14,4 kg de feijão por habitante ao ano na safra 2020/2021 (Agriannual online, 2021), a população estadual de 8.602.865 habitantes (IBGE, 2022) e a produção obtida nesta mesma safra (CONAB, 2022), o estado do Pará importou cerca de 84% do feijão (caupi e comum) consumido, correspondendo a aproximadamente 103 mil toneladas e indicando elevada demanda por expansão da cultura para atender o mercado interno.

O feijão-caupi é o principal tipo de feijão produzido no estado do Pará. Na safra 2020/2021 foram produzidas 17,5 mil toneladas, em área de 22,5 mil hectares, com produtividade média de 776 kg ha^{-1} (CONAB, 2022). O estado do Pará possui tradição de cultivo de feijão-caupi, além de elevado potencial de expansão, pois a cultura se integra muito bem como alternativa de safrinha tendo a soja como cultura principal (Freire Filho, 2011). Esse estado possui amplas áreas de pastagens com condições edafoclimáticas e logísticas favoráveis, as quais vêm sendo convertidas para a produção de grãos, sendo atualmente uma das principais fronteiras agrícolas do País, onde a agricultura aumentou mais de 5.000% entre 2000 e 2014 (Vale, 2020). A integração da cultura do feijão-caupi nesse cenário de expansão indica a possibilidade de o estado do Pará tornar-se autossuficiente ou mesmo exportador de grãos para outros estados da federação ou outros países consumidores.

Afim de promover o desenvolvimento tecnológico do feijão-caupi e com isso fomentar a produção local, a Embrapa Amazônia Oriental estabeleceu, em 2013, um programa de melhoramento genético completo no estado do Pará, com coleção de trabalho contendo germoplasma de elevado valor, equipe e estrutura ajustados para o desenvolvimento de

novas cultivares. Esse programa de melhoramento genético focou na adaptabilidade às condições de cultivo tradicionais e regiões com elevado potencial de expansão, tendo como principais objetivos produtividade, resistência a doenças, qualidade de grãos e porte e arquitetura da planta ajustados à colheita mecanizada. Apesar da juventude desse programa de melhoramento genético, os primeiros resultados de pesquisa foram obtidos mediante o registro de seis novas cultivares junto ao Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) em 2020 (Brasil, 2021), atendendo às demandas mais urgentes da cadeia produtiva do estado do Pará.

No estado do Pará, é cultivado um tipo diferenciado de feijão-caupi, denominado feijão-manteiguinha ou feijão-de-santarém, que possui características peculiares, grãos de cor creme persistente, tamanho extrapequeno, com peso de cem grãos inferior a 10 g, preferencialmente entre 7 e 10 g (Freire Filho et al., 2019). O feijão-manteiguinha foi introduzido na região de Santarém por grupos de americanos em meados do século 19 (Filgueiras et al., 2009). A partir de Santarém, o feijão-manteiguinha se disseminou, expandindo para outros estados da região Norte e para o Maranhão, e tornou-se um prato típico da culinária paraense, sendo um importante nicho de mercado aos agricultores do estado (Freire Filho et al., 2019).

Apesar de sua introdução ter ocorrido há mais de 150 anos, as primeiras pesquisas visando o desenvolvimento de novas cultivares de feijão-caupi tipo manteiguinha iniciaram em 2013, lideradas pela Embrapa Amazônia Oriental. A partir dessas pesquisas, em 2020, foi registrada a primeira cultivar de feijão-caupi do tipo manteiguinha do Brasil, BRS Natalina (RNC nº 45615), que foi lançada em 2023. A cultivar BRS Natalina tem elevada produtividade, significativamente superior a duas cultivares crioulas amplamente adotadas em Santarém, PA, e Ponta de Pedras, MA, utilizadas como testemunhas em ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) realizados no estado do Pará, e possui grãos com tegumento de cor creme, liso e extrapequenos, no padrão do tipo manteiguinha (Freire Filho et al., 2019). Recentemente, o *Bean common mosaic virus* (BCMV), do gênero *Begomovirus* e família Geminiviridae, foi relatado infectando plantios de feijão-caupi tipo manteiguinha no estado do Pará, e a BRS Natalina foi o único genótipo de feijão-caupi do tipo manteiguinha que apresentou resistência a esse vírus, em estudo que analisou outras dez linhagens e três populações crioulas, que compuseram a rede de ensaios de valor de

cultivo e uso que resultou no registro dessa cultivar (Boari et al., 2022). Esses atributos indicam que a adoção da BRS Natalina tem elevado potencial de contribuição para o cultivo do feijão-manteiguinha, devido à sua superioridade em relação às cultivares crioulas disponíveis aos agricultores. Contudo, essa cultivar apresenta pontos a melhorar, incluindo o ciclo tardio, a susceptibilidade ao *Cowpea severe mosaic virus* (CPSMV), do gênero *Comovirus* e família Secoviridae, e o porte semiprostrado, com ramos laterais médios a longos, pouco favorável para a colheita mecanizada.

Com o objetivo de avançar no melhoramento genético do feijão-caupi tipo manteiguinha e obter novas linhagens agronomicamente superiores à BRS Natalina, a Embrapa Amazônia Oriental desenvolveu em Belém, PA, entre 2016 e 2021, pesquisas continuadas em campo e laboratório, durante sete safras consecutivas. Essas pesquisas envolveram a seleção de genitores entre os acessos disponíveis na coleção de trabalho de recursos genéticos, realização de três cruzamentos, avanço de gerações, abertura de linhagens e seleção preliminar de linhagens promissoras que irão compor o próximo experimento de valor de cultivo e uso para o estado do Pará, com propósito de lançar novas cultivares e selecionar novos genitores de cruzamentos. Os objetivos do melhoramento genético foram resistência a vírus, com foco no CPSMV e no BCMV, elevada qualidade de grãos no padrão do tipo manteiguinha, produtividade de grãos, precocidade de maturação e porte e arquitetura da planta ajustados à colheita mecanizada.

Material e métodos

Os ensaios em campo e telado foram instalados na Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA (1°28'S e 48°29'W). O solo do local é do tipo Latossolo Franco-Arenoso Distrófico (Santos et al., 2013). De acordo com classificação de Köppen, o clima do local é do tipo Afi (Alvares et al., 2013), com pluviosidade média de 3.084 mm e com maior concentração das chuvas no primeiro semestre do ano (INMET, 2022). Adotou-se o sistema de cultivo convencional em área irrigada, conforme recomendado pelo sistema de produção da Embrapa (Bastos, 2021). A colheita foi realizada na maturidade das vagens.

Cruzamentos

Em 2016, foram realizados três cruzamentos (Tabela 1). O acesso TVu 382 participou como genitor em todos os cruzamentos, por ser fonte

reconhecida de resistência ao vírus CPSMV. A BR2 Bragança era, na época, a cultivar lançada pela Embrapa com características de grãos mais similar ao tipo manteiguinha, apesar de possuir grãos de tamanho médio, sendo selecionada como genitor do cruzamento TUC16-04. Devido ao destaque nos experimentos preliminares conduzidos na época

para a seleção de linhagens do tipo manteiguinha, a BRS Natalina foi selecionada como genitor do cruzamento TUC16-05. A linhagem MG-40 foi selecionada para o cruzamento 16-06, com o objetivo do desenvolvimento de linhagens do tipo manteiguinha com porte da planta ereto ou semiereto

Tabela 1. Relação de cruzamentos realizados em 2016 na Embrapa Amazônia Oriental para o desenvolvimento de novas linhagens de feijão-caupi do tipo manteiguinha. Embrapa, Belém, 2016.

Cruzamento	Genitor	Código ⁽¹⁾	Porte da planta ⁽²⁾	Cor do grão	Aspecto do tegumento	Peso de 100 grãos (g)	Característica importante ⁽³⁾
TUC16-04	Feminino TVu 382	TUC 30	3	Branco	Liso	10,50	Resistência aos vírus CPSMV, CABMV, CMV e BCMV
	Masculino BR2 Bragança	TUC 2	3	Creme	Liso	18,28	Qualidade de grão, resistência aos vírus CABMV e BCMV
TUC16-05	Feminino TVu 382	TUC 30	3	Branco	Liso	10,50	Resistência aos vírus CPSMV, CABMV, CMV e BCMV
	Masculino BRS Natalina	TUC 178	3	Creme	Liso	8,42	Produtividade, resistência ao Potyvirus BCMV que ocorre no Pará
TUC16-06	Feminino TVu 382	TUC 30	3	Branco	Liso	10,50	Resistência aos vírus CPSMV, CABMV, CMV e BCMV
	Masculino MG-40	TUC 159	1	Branco	Rugoso	12,88	Porte ereto com anel do hilo amarelo claro

⁽¹⁾ Código referente à Coleção de Trabalho de Feijão-Caupi da Embrapa Amazônia Oriental.

⁽²⁾ Escalas de porte: 1 – Ereto; 2 – Semiereto; 3 – Semiprostrado; 4 – Prostrado (conforme descrito na Tabela 2).

⁽³⁾ CPSMV: *Cowpea severe mosaic virus*; CABMV: *Cowpea aphid-bone mosaic virus*; CMV: citomegalovírus; BCMV: *Bean common mosaic virus*.

Tabela 2. Escala para a leitura do porte da planta. Embrapa, Belém, 2020.

Escore	Caracterização
1	Porte ereto – ramo principal e secundários curtos, ramo principal ereto, com os ramos secundários formando um ângulo que pode variar de reto a agudo com o ramo principal, contudo, a partir do terço médio, os ramos secundários tornam-se paralelos ao ramo principal
2	Porte semiereto – ramo principal e secundários de tamanho curto a médio, ramo principal ereto, com ramos secundários formando um ângulo reto com o ramo principal, geralmente sem tocar o solo
3	Porte semiprostrado – ramo principal ereto, ramo principal e secundários de tamanho médio, com ramos secundários formando um ângulo reto com o ramo principal e geralmente tocando o solo a partir do seu terço médio, com o principal e os secundários apresentando tendência de volubilidade
4	Porte prostrado – ramo principal geralmente pequeno, com entrenós curtos, ramos secundários longos, com os ramos secundários inferiores tocando o solo em toda sua extensão, apresentando pouca tendência a apoiarem-se em suportes verticais

Fonte: Adaptado de Freire Filho (2011).

Avanço de gerações e abertura de linhagens

Geração F₁ (2017)

A Geração F₁ foi implantada em meados de 2017, com objetivo de produzir aproximadamente mil sementes por cruzamento, para a obtenção de populações F₂ com quantidades de sementes compatíveis com os objetivos do melhoramento genético.

Geração F₂ (plantio de 25 a 27 de outubro de 2017)

Na geração F₂, foi feito o plantio em bandejas, em condições de telado. Entre 6 e 10 dias após

a germinação, as plantas foram inoculadas mecanicamente com extrato tamponado de folhas de feijão-caupi infectadas pelo CPSMV, com auxílio do abrasivo carbetto de silício. Esse isolado do vírus foi coletado no município de Tracuateua, PA. Posteriormente, foram eliminadas as plantas que apresentaram sintomas de virose, enquanto as plantas sem sintomas foram transplantadas para o solo, em condições de telado, praticando assim a seleção precoce para resistência ao CPSMV. Nos cruzamentos TUC16-04 e TUC16-05, as plantas

foram colhidas em *bulk*. No cruzamento TUC16-06 foi feita a colheita de plantas individuais que apresentaram padrão de grãos do tipo manteiguinha. A seleção precoce foi baseada em modelo de resistência ao CPSMV restrito a um loco e dois alelos em dominância completa, sendo a resistência conferida ao alelo recessivo em homozigose. Para testar a segregação e a homogeneidade das segregações, foi utilizado o teste χ^2 .

Geração F₃ (plantio em 8 de agosto de 2018): plantio em condições de campo

Nos cruzamentos TUC16-04 e TUC16-05, foram selecionadas as plantas com características do tipo manteiguinha, sendo estas colhidas em *bulk*. No cruzamento TUC16-06, foram colhidas plantas individuais, somente as que apresentavam padrão de grãos do tipo manteiguinha.

Geração F₄ (plantio em agosto de 2019): plantio em condições de campo

No segundo semestre de 2019, a partir de uma população F₄, realizou-se a seleção de 96 plantas individuais (linhagens F_{4:5}) (Tabela 3). Essa seleção foi feita em duas etapas, a primeira em campo, pela qual foram selecionados genótipos com base no porte e arquitetura da planta, precocidade, sanidade e carrego, e a segunda seleção em laboratório, sendo eliminados os genótipos que apresentaram inferior qualidade de grãos.

Tabela 3. Relação de 96 linhagens de feijão-caupi tipo manteiguinha obtidas na geração F_{4:5}, a partir de três cruzamentos (TUC16-04, TUC16-05 e TUC16-06). Embrapa, Belém, 2019.

TUC16-04	TUC16-05		TUC16-06			
16-04-1	16-05-2	16-05-23	16-06-1-1	16-06-3-3	16-06-7-3	16-06-8-6
16-04-2	16-05-3	16-05-24	16-06-1-2	16-06-3-4	16-06-7-6	16-06-8-7
16-04-3	16-05-6	16-05-25	16-06-1-3	16-06-3-5	16-06-7-7	16-06-8-8
16-04-4	16-05-8	16-05-27	16-06-1-4	16-06-3-6	16-06-7-8	16-06-8-9
16-04-5	16-05-9	16-05-28	16-06-1-5	16-06-3-7	16-06-7-9	16-06-8-10
16-04-6	16-05-10	16-05-29	16-06-1-6	16-06-3-8	16-06-7-10	16-06-8-11
16-04-8	16-05-11	16-05-30	16-06-1-7	16-06-3-9	16-06-7-11	16-06-8-12
16-04-9	16-05-13	16-05-32	16-06-1-8	16-06-3-10	16-06-7-12	16-06-9-1
–	16-05-14	16-05-33	16-06-1-9	16-06-3-11	16-06-7-14	16-06-9-3
–	16-05-16	16-05-34	16-06-1-10	16-06-4-2	16-06-7-15	16-06-9-7
–	16-05-17	16-05-35	16-06-1-11	16-06-4-4	16-06-8-1	16-06-9-10
–	16-05-18	16-05-36	16-06-1-13	16-06-4-5	16-06-8-2	16-06-9-11
–	16-05-19	16-05-37	16-06-2-1	16-06-4-8	16-06-8-3	16-06-9-12
–	16-05-20	16-05-39	16-06-3-1	16-06-6-1	16-06-8-4	–
–	16-05-21	16-05-40	16-06-3-2	16-06-7-1	16-06-8-5	–

Traço (–): informação não aplicável.

Ensaio de avaliação preliminar de primeiro ano na geração F_{4:5}

O plantio foi realizado em condições de campo, em 7 e 8 de julho de 2020. Utilizou-se o delineamento de blocos aumentados de Federer (1956), com quatro blocos com 30 parcelas cada, sendo 24 tratamentos regulares e seis tratamentos comuns. No total, o experimento foi composto por 120 parcelas, sendo 96 linhagens F_{4:5} (Tabela 3) como tratamentos regulares sem repetição e seis tratamentos comuns com quatro repetições. Nos tratamentos comuns, foram utilizadas três linhagens (BRS Natalina; PNG-3 – linhagem selecionada de população crioula

de Pinheiros, MA; e MAK-3 – linhagem selecionada de população crioula de Monte Alegre) e três populações crioulas [população crioula de Ponta de Pedras (PPP); população crioula de Santarém (PSI); e população crioula de Pinheiros, MA (PPN)].

A parcela foi composta por uma fileira de 4 m, com espaçamento entre fileiras de 1,0 m e espaçamento dentro da fileira de 0,25 m, 16 covas por fileira, quatro sementes por cova e duas plantas por cova após o desbaste. Esse tamanho pequeno de parcela foi ajustado à disponibilidade restrita de sementes, que foram oriundas de plantas individuais na

geração, em procedimento normalmente adotado no melhoramento genético. Foram realizadas três colheitas na maturidade das vagens, aos 64, 71 e 77 dias após a semeadura. As condições climáticas foram normais para o período, considerando a média histórica (INMET, 2022). As vagens foram secas ao sol, debulhadas manualmente e os grãos foram selecionados manualmente e armazenados em câmara de sementes (4–5 °C).

Foram avaliados os seguintes caracteres: produtividade de grãos (g parcela⁻¹), representada pelo total das três colheitas; ciclo (dias entre plantio e colheita), representado pela média ponderada do número de dias entre semeadura e colheita pela produtividade de grãos de cada data de colheita; peso de 100 grãos (g); e porte da planta, representado pela escala: tipo 1 = ereto, tipo 2 = semiereto e tipo 3 = semiprostrado (Tabela 2). Como critério principal na seleção de linhagens, realizou-se a análise visual da qualidade de grãos, em que foram selecionados grãos com coloração uniforme, padrão do tipo manteiguinha, formato elíptico, hilo e anel do hilo pequenos, anel do hilo com coloração clara e ausência de defeitos (rachaduras e manchas no tegumento e perfuração no hilo).

As estimativas dos parâmetros genéticos dos caracteres quantitativos avaliados, que envolvem produtividade de grãos, ciclo de maturação e peso de 100 grãos, foram obtidas via modelos lineares mistos REML/BLUP, empregando o software Selegen-REML/BLUP (Resende, 2002). Os dados foram analisados segundo o modelo estatístico:

$$y = Xf + Zg + Wb + e$$

em que y é o vetor de dados, f é o vetor dos efeitos assumidos como fixos (médias de testemunhas e média da população de tratamentos principais), g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), b é o vetor dos efeitos ambientais de blocos (assumidos como aleatórios), e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

O caráter porte da planta foi analisado por estatística descritiva.

A seleção das linhagens superiores considerou os caracteres conjuntamente e seguiu a seguinte escala de prioridade, adotada em função dos resultados da análise estatística: qualidade visual do grão > porte da planta > ciclo de maturação > peso de 100 grãos > produtividade de grãos. Apesar da elevada importância agrônômica, o caráter produtividade de grãos teve menor peso na seleção devido à não significância de efeitos na análise de *deviance*.

Ensaio de avaliação preliminar de segundo ano na geração F_{5:6}

O plantio foi realizado em condições de campo, de 8 a 10 de setembro de 2021. Utilizou-se o delineamento látice 6 x 6, com três repetições. Os 36 tratamentos foram representados por 35 linhagens selecionadas do ensaio preliminar F_{4:5} e a BRS Natalina. A parcela foi composta por quatro linhas de 4 m, espaçamento de 40 cm entre linhas, 20 cm entre covas na linha, quatro sementes por cova e duas plantas por cova após o desbaste, resultando na população final de 250 mil plantas por hectare. Foram realizadas seis colheitas na maturidade das vagens, aos 59, 62, 69, 75, 82 e 89 dias após a semeadura. O número de colheitas foi devido à diferença de ciclo de maturação entre os genótipos testados e às condições climáticas desfavoráveis, com precipitação acima da média histórica para o período (INMET, 2022). As vagens foram secas ao sol, debulhadas manualmente e os grãos foram selecionados manualmente e armazenados em câmara de sementes (4–5 °C). Foram avaliados os caracteres produtividade de grãos (kg ha⁻¹), representada pelo total das seis colheitas, ciclo (dias entre plantio e colheita), representado pela média ponderada do número de dias entre semeadura e colheita pela produtividade de grãos de cada data de colheita, peso de 100 grãos (g) e porte da planta, representado pela escala: tipo 1 = ereto, tipo 2 = semiereto e tipo 3 = semiprostrado (Tabela 2). Como critério principal na seleção, realizou-se a análise visual da qualidade de grãos, pela qual foram selecionados grãos com coloração uniforme, padrão do tipo manteiguinha, formato elíptico, hilo e anel do hilo pequenos, anel do hilo com coloração clara e ausência de defeitos (incluindo rachaduras e manchas no tegumento e perfuração no hilo).

As estimativas dos parâmetros genéticos dos caracteres quantitativos avaliados, produtividade de grãos, ciclo de maturação e peso de 100 grãos, foram obtidas via modelos lineares mistos REML/BLUP, empregando o software Selegen-REML/BLUP (Resende, 2002). As avaliações foram analisadas segundo o modelo estatístico:

$$y = Xr + Zg + Wb + e$$

em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), b é o vetor dos efeitos de blocos (assumidos como aleatórios), e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

O caráter porte da planta foi analisado por estatística descritiva.

A seleção das linhagens superiores considerou os caracteres conjuntamente e seguiu a seguinte escala de prioridade: qualidade visual do grão > porte da planta = produtividade de grãos > ciclo de maturação > peso de 100 grãos.

Avaliação de resistência ao CPSMV e ao BCMV na geração F_{4:5}

Paralelamente, foram montados dois ensaios da geração F_{4:5} para avaliação da resistência das 35 linhagens aos vírus CPSMV e BCMV sob condições de casa de vegetação. Para isso, sementes das linhagens foram semeadas em bandejas de isopor contendo substrato para mudas e, após 10 dias, as plantas das linhagens foram inoculadas mecanicamente com extrato de folhas infectadas com o vírus com auxílio do abrasivo carbeto de silício. Folhas infectadas foram maceradas com tampão fosfato de potássio 0,02M, pH 7,2 na proporção de 1 g de folha para 10 mL de tampão. Para cada linhagem, seis plantas foram inoculadas com extrato viral e duas mantidas com controle sadio. A inoculação foi repetida aos 3 dias após a primeira e, aos 3 dias após essa segunda inoculação, as plantas foram transplantadas para vasos contendo 3 L de terra. As avaliações das reações das linhagens aos vírus BCMV e CPSMV foram realizadas durante 30 dias após a última inoculação, sendo as plantas sem sintomas consideradas como resistentes e as com sintomas de viroses como susceptíveis.

Resultados e discussão

Seleção para resistência ao CPSMV

Conforme apresentado por Lima et al. (2019), descartaram-se 2.120 plantas suscetíveis e selecionaram-se 748 plantas F₂ resistentes ao CPSMV, cuja segregação se enquadrou no padrão 3:1, sendo o fenótipo resistente representado pelos homocigotos recessivos (Tabela 4). Entre as plantas resistentes selecionadas, 267 eram da população TUC16-04, 221 da população TUC16-05 e 260 da população TUC16-06. Conforme Borém e Miranda (2009), populações F₂ com 500 a 1.000 indivíduos são adequadas para os programas de melhoramento com objetivos de curto prazo e populações F₂ com 200 indivíduos são recomendados para os cruzamentos convergentes, em situações em que a distância genética entre os genitores é relativamente pequena, como acontece em programas de melhoramento consolidados. Considerando que nesses indivíduos F₂ foi praticada a seleção nos homocigotos recessivos, teoricamente, a resistência ao CPSMV estava fixada na população, portanto o montante de plantas selecionadas seria bastante para promover tamanho populacional suficiente para as demais características de interesse, que envolvem produtividade de grãos, porte da planta, ciclo de maturação e qualidade de grãos, que continuariam a segregar nas gerações seguintes, permitindo o melhoramento genético.

Tabela 4. Análise da segregação e teste de heterogeneidade da resistência ao *Cowpea severe mosaic virus* (CPSM), de três populações F₂ de feijão-caupi do tipo comercial manteiguinha.

	FO		FE		χ ²	GL	Probabilidade
	S	R	S	R			
TUC 16-04	753	267	765	255	0,75	1	0,39
TUC 16-05	615	221	627	209	0,92	1	0,34
TUC 16-06	752	260	759	253	0,26	1	0,61
Σχ ²	–	–	–	–	1,93	3	0,59
χ ² do total das classes	2.120	748	2.151	717	1,79	1	0,18
Heterogeneidade	–	–	–	–	0,14	2	0,93

FO: frequência observada; FE: frequência esperada na segregação 3:1; S: fenótipo suscetível; R: fenótipo resistente; GL: grau de liberdade; χ²: teste qui-quadrado de Pearson.

Traço (–): informação não aplicável.

Fonte: Adaptado de Lima et al. (2019).

As 35 linhagens da geração F_{4:5} selecionadas no primeiro ano de avaliação preliminar apresentaram resistência aos vírus BCMV e CPSMV. Esse resultado indica que a seleção para resistência

ao CPSMV praticada em F₂, baseada em modelo de um loco e dois alelos em dominância completa com a resistência atribuída ao alelo recessivo, foi eficiente para fixar a resistência ao CPSMV na

população. Considerando o sucesso da seleção precoce para resistência a vírus apresentado nesta pesquisa, o programa de melhoramento genético da Embrapa Amazônia Oriental pretende utilizar essa abordagem novamente em outras populações.

Ensaio de avaliação preliminar de primeiro ano geração F_{4:5}

Segundo a análise de *deviance*, não foi detectada variabilidade genética no caráter produtividade de grãos (Tabela 5). Dessa forma, esse caráter não pode ser utilizado na seleção de genótipos superiores a

fim de obter ganhos na seleção. Resultado similar foi observado por Torres et al. (2013), em que a análise de variância não detectou efeito de genótipo para o caráter produtividade de grãos, em avaliação de 604 linhagens de feijão-caupi em delineamento de blocos aumentados de Federer. Em pesquisa com 109 linhagens de feijão-caupi da subclasse comercial fradinho realizada por Silva et al. (2012), a análise de variância também não detectou efeito significativo para genótipo no caráter produtividade de grãos.

Tabela 5. Análise de *deviance* para os caracteres produtividade de grãos, ciclo de maturação e peso de 100 grãos (P100Gr), em ensaio preliminar de F_{4:5} de feijão-caupi do tipo manteiguinha. Embrapa, Belém, 2020.

Efeito	Grau de liberdade	Produtividade de grãos (g parcela ⁻¹)		P100Gr (g)		Ciclo de maturação (dias)	
		<i>Deviance</i>	LTR ⁽¹⁾	<i>Deviance</i>	LTR	<i>Deviance</i>	LTR
Genótipo	97	1.200,02	2,28ns	193,53	18,22*	272,49	15,69*
Bloco	3	1.226,41	28,67*	176,46	1,15ns	277,67	20,87*
Modelo completo	1.197,74	–	175,31	–	256,8	–	0,61

⁽¹⁾LTR: teste da razão de verossimilhança.

ns não significativo e *significativo a 5% segundo teste Qui-Quadrado, Traço (–): informação não aplicável.

A produtividade de grãos é uma característica controlada por muitos genes, por isso é bastante influenciada pelo ambiente, com baixa herdabilidade (Matos Filho et al., 2009). Em outro estudo, Sousa et al. (2013), avaliando 240 linhagens de feijão-caupi em dois locais, no delineamento em blocos aumentados de Federer, não observaram efeito de genótipo para produtividade de grãos em Balsas, MA, mas foi detectado efeito para esse caráter em Primavera do Leste, MA, indicando o efeito ambiental na experimentação nesse tipo de delineamento em que os tratamentos regulares são representados por apenas uma repetição. O delineamento em blocos aumentados é utilizado em etapas iniciais de avaliações de linhagens, pois, na falta de material propagativo, os tratamentos podem ser testados em apenas uma repetição (Federer, 1956). Um ponto positivo foi que a

experimentação preliminar possibilitou ampliar a oferta de sementes dessas linhagens, possibilitando em etapas seguintes, a experimentação com repetições verdadeiras e parcelas maiores, a fim de obter ganhos de seleção no caráter produtividade de grãos.

Todavia, no processo de seleção, considerando o conjunto de caracteres avaliados, a produtividade de grãos foi utilizada como critério de desempate na seleção de linhagens que apresentaram valores semelhantes nos demais caracteres. Com isso, percebeu-se diferença aritmética considerável, apesar de não significativa, na produtividade de grãos das linhagens selecionadas em relação às descartadas (Tabela 6). Ademais, apesar de não ter sido detectada diferença significativa entre as linhagens, observou-se grande variação fenotípica na produtividade de grãos.

Tabela 6. Valores fenotípicos (VF) e genotípicos (VG) de linhagens F_{4:5} de feijão-caupi do tipo manteiguinha selecionadas em ensaio preliminar de primeiro ano. Embrapa, Belém, 2020⁽¹⁾.

Código TUC	VF Produtividade ⁽²⁾ (g parcela ⁻¹)	VG P100Gr (g)	VG Ciclo (dia)	VF Porte da planta
16-04-2	290,10 ^{55*}	8,29 ⁽³⁾	73,55 ⁵³	2
16-04-6	459,50 ²⁰	7,51 ⁽³⁾	74,35 ⁷²	3
16-05-3	645,00 ⁸	7,25 ⁽³⁾	74,90 ⁸⁷	3

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Código TUC	VF Produtividade ⁽²⁾ (g parcela ⁻¹)	VG P100Gr (g)	VG Ciclo (dia)	VF Porte da planta
16-05-10	407,30 ²⁸	7,51 ⁽³⁾	74,19 ⁶⁹	3
16-05-13	533,40 ¹¹	6,99	74,86 ⁸⁵	2
16-05-16	767,80 ³	7,77 ⁽³⁾	74,11 ⁶⁷	3
16-05-17	453,90 ²¹	6,48	73,32 ⁴⁷	2
16-05-20	293,10 ⁵³	7,34 ⁽³⁾	73,78 ⁵⁷	2
16-05-21	651,00 ⁷	6,82	73,45 ⁵¹	3
16-05-24	865,60 ¹	7,17 ⁽³⁾	74,04 ⁶³	3
16-05-35	774,00 ²	7,34 ⁽³⁾	73,92 ⁵⁹	3
16-06-1-1	370,60 ³³	8,03 ⁽³⁾	72,58 ³⁴	1
16-06-1-3	262,40 ⁶²	7,86 ⁽³⁾	74,35 ⁷¹	2
16-06-1-5	347,10 ³⁹	7,86 ⁽³⁾	72,74 ³⁷	1
16-06-3-1	356,10 ³⁷	8,29 ⁽³⁾	69,01 ¹	1
16-06-3-2	255,70 ⁶⁴	9,32 ⁽³⁾	71,65 ¹⁸	1
16-06-3-3	445,60 ²²	8,55 ⁽³⁾	70,10 ⁵	1
16-06-3-4	221,80 ⁷⁴	8,29 ⁽³⁾	73,32 ⁴⁸	1
16-06-3-5	277,60 ⁵⁹	8,55 ⁽³⁾	72,85 ⁴⁰	1
16-06-3-9	315,00 ⁴⁵	8,46 ⁽³⁾	72,19 ²⁶	1
16-06-3-11	230,20 ⁷¹	8,37 ⁽³⁾	73,57 ⁵⁴	1
16-06-6-1	178,80 ⁸⁴	7,08 ⁽³⁾	73,08 ⁴⁵	1
16-06-7-1	470,60 ¹⁸	7,51 ⁽³⁾	72,17 ²⁴	1
16-06-7-12	373,30 ³²	9,24 ⁽³⁾	71,80 ²⁰	1
16-06-7-14	423,30 ²⁴	7,94 ⁽³⁾	72,70 ³⁶	1
16-06-8-1	383,40 ³⁰	10,44	72,02 ²³	1
16-06-8-2	292,70 ⁵⁴	9,84 ⁽³⁾	71,48 ¹⁵	1
16-06-8-6	560,00 ¹⁰	9,84 ⁽³⁾	70,82 ¹³	1
16-06-8-8	262,10 ⁶³	9,24 ⁽³⁾	70,51 ⁸	1
16-06-8-9	376,90 ³¹	9,49 ⁽³⁾	72,85 ³⁹	1
16-06-8-10	338,40 ⁴¹	9,92 ⁽³⁾	72,42 ³¹	1
16-06-8-11	293,80 ⁵²	8,80 ⁽³⁾	70,60 ¹⁰	1
16-06-9-1	368,40 ³⁴	7,51 ⁽³⁾	69,30 ²	1
16-06-9-3	414,10 ²⁶	5,01	71,75 ¹⁹	1
16-06-9-12	284,00 ⁵⁷	5,87	72,18 ²⁵	1
BRS Natalina	470,55 ¹⁹	7,92 ⁽³⁾	73,12 ⁴⁶	3
Média linhagens selecionadas	406,93	8,05	72,59	–
Média linhagens descartadas ⁽⁴⁾	301,44	7,92	73,51	–
Média testemunhas comuns	236,98	7,96	73,15	3
Média/moda cruzamento 16-04 ⁽⁵⁾	364,99	9,05	73,38	3
Média/moda cruzamento 16-05 ⁽⁵⁾	431,57	7,1	74,42	3
Média/moda cruzamento 16-06 ⁽⁵⁾	293,23	8,25	72,49	1
Média geral do experimento	319,93	7,97	73,21	–

(1) Características produtividade de grãos e porte expressos segundo valores fenotípicos e ciclo de maturação e peso de 100 grãos (P100Gr) expressos segundo os valores genotípicos.

(2) Números sobrescritos nos valores genotípicos da produtividade de grãos indicam o ranque da linhagem, que considerou também as linhagens descartadas, as quais não constam na tabela.

(3) Linhagens com P100Gr com valores genotípicos entre 7 e 10 g, tamanho mais ajustado ao mercado.

(4) As linhagens descartadas não foram discriminadas na tabela.

(5) Caracteres produtividade de grãos, ciclo de maturação e P100Gr expressos segundo as médias e porte da planta segundo a moda.

Traço (–): informação não aplicável.

Detectou-se efeito de genótipo para o caráter peso de 100 grãos pela análise de *deviance* (Tabela 5). Torres et al. (2013) e Silva et al. (2012) também detectaram efeitos de genótipo para o caráter peso de 100 grãos, em estudos realizados em delineamento de blocos aumentados de Federer. O valor de herdabilidade (0,846) e a acurácia na seleção de genótipos (0,919) para peso de 100 grãos foram elevados no presente estudo (Tabela 7). De acordo com Resende (2007), a acurácia seletiva pode ser classificada como: muito alta ($\geq 0,90$), alta ($\geq 0,70$ e $< 0,90$), moderada ($\geq 0,50$ e $< 0,70$) e baixa ($< 0,50$). Esses resultados indicam que esse caráter apresenta maior herdabilidade em relação à produtividade de grãos, e permite a seleção em etapas preliminares da experimentação, quando os tratamentos são testados com apenas uma repetição.

Tabela 7. Componentes de variância⁽¹⁾ (REML Individual) dos caracteres ciclo de maturação e peso de 100 grãos (P100Gr), em ensaio preliminar de F_{4:5} de feijão-caupi do tipo manteiguinha. Embrapa, Belém, 2020.

	P100Gr (g)	Ciclo de maturação (dias)
Vg	1,973	3,547
Vbloc	ns	0,928
Ve	0,316	0,581
Vf	2,289	5,055
h ² g	0,862	0,701
c ² bloc	ns	0,184
Acgen	0,928	0,837
Média geral	7,973	73,205

⁽¹⁾ Vg: variância genotípica; Vbloc: variância ambiental entre blocos; Ve: variância residual; Vf: variância fenotípica individual; h²g = h²: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais; c²bloc = c²: coeficiente de determinação dos efeitos de bloco; Acgen: acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa; Média geral: média geral do experimento.

ns não significativo.

No estudo atual, a fim de estabelecer linhagens com padrão manteiguinha, caracterizadas por grãos extrapequenos, com peso de 100 grãos entre 7 e 10 g (Freire Filho et al., 2019), a seleção precoce é fundamental para antecipar ganhos na seleção para esse caráter altamente impactante para o mercado. Entre as 35 linhagens selecionadas, considerando o conjunto de caracteres de interesse nessa etapa de avaliação, 29 linhagens apresentaram valores genotípicos para peso de 100 grãos entre 7 e 10 g (Tabela 6), que é a faixa de referência para o tipo manteiguinha (Freire Filho et al., 2019). Foram selecionadas algumas linhagens que extrapolaram esses limites devido ao alto desempenho em outros

caracteres avaliados, pois, além do objetivo em curto prazo de selecionar linhagens para recomendação como novas cultivares, existe o objetivo de longo prazo de realizar novos cruzamentos, em que linhagens com tamanho de grãos ligeiramente acima ou abaixo do limite estabelecido para o tipo manteiguinha podem vir a ser utilizadas como genitores.

O caráter ciclo de maturação, representado pelo número de dias entre plantio e colheita, foi significativo para genótipo na análise de *deviance* (Tabela 5) e apresentou elevados valores de herdabilidade (0,701) e acurácia na seleção de linhagens (0,837) (Tabela 7), indicando potencial de ganhos na seleção nessa etapa preliminar, em que os tratamentos regulares (novas linhagens) foram avaliados sem repetição. A herdabilidade do ciclo de maturação entre plantio e maturação das vagens é uma característica que apresentou elevados valores de herdabilidade em diversos estudos (Panchta et al., 2021). Omoigui et al. (2006), avaliando nove variedades de feijão-caupi, estimaram valores de herdabilidade no sentido amplo de 83,9% para o ciclo de maturação. Mohammed et al. (2010), estudando cinco cruzamentos entre cultivares de feijão-caupi e um genótipo selvagem, estimaram a herdabilidade no sentido amplo de 77,93% para o número de dias para maturidade das vagens. No estudo atual, o valor genotípico do ciclo de maturação nos tratamentos comuns variou entre 72,53 e 74,08 dias e nas linhagens entre 69,01 e 77,72 dias. Foram priorizadas linhagens com valor genotípico de ciclo de maturação inferior a 73 dias, que se situam abaixo da média dos tratamentos comuns (Tabela 6). A maioria das linhagens mais precoces pertenceram ao cruzamento 16-06, e possuem porte da planta ereto ou semiereto, indicando possível associação entre esses caracteres. A média das 35 linhagens selecionadas foi de ciclo de maturação mais precoce do que a média das testemunhas comuns, enquanto as 57 linhagens descartadas apresentaram ciclo de maturação mais tardio. Foram selecionadas 20 linhagens com ciclo de maturação inferior a 73 dias e 15 linhagens com ciclo de maturação entre 73,08 e 74,9 dias, considerado ciclo médio para feijão-caupi (Freire Filho, 2011), em função do elevado desempenho em outros caracteres.

Segundo Freire Filho (2011), a expansão do feijão-caupi em áreas mecanizadas, principalmente na safrinha da soja, teve como um dos principais aspectos a contribuição gerada pelo desenvolvimento de cultivares com agregado de caracteres importantes para o cultivo em grandes áreas, onde os portes da planta ereto e semiereto são fundamentais para elevar

a eficiência da colheita mecanizada. Segundo relatos na literatura, o hábito de crescimento enramador (prostrado e semiprostrado) é dominante sobre o hábito arbustivo (ereto e semiereto), controlado por um a três pares de genes (Freire Filho et al., 2005; Matos filho et al., 2014). A herança qualitativa do porte da planta está associada com elevada herdabilidade, de modo que a seleção preliminar é indicada. Neste estudo, entre as 96 linhagens avaliadas, foram observadas 50 linhagens com porte de planta ereto, restritas ao cruzamento TUC16-06, e 11 linhagens oriundas dos três cruzamentos realizadas com porte semiereto (Tabela 8), que foram priorizadas na seleção, pois até o momento não foram relatados cultivares ou materiais crioulos do tipo manteiguinha com esses tipos de porte. Todos os seis tratamentos comuns, incluindo três populações crioulas, a BRS Natalina e outras duas linhagens de sua geração, apresentaram porte semiprostrado. Entre as 35 linhagens selecionadas, considerando o conjunto de caracteres avaliados, 23 apresentaram porte ereto e cinco porte semiereto, sendo esse caráter fundamental para a seleção (Tabela 6). Foram selecionadas apenas sete linhagens com porte semiprostrado, em função de elevado desempenho em outros caracteres, pois poderão futuramente vir a ser utilizadas como genitores em novos cruzamentos com genótipos de porte ereto, assim como pelo fato que esse porte é de interesse em algumas situações de colheita manual, em que os produtores têm preferência por realizar maior número de colheitas. Por isso, não é descartada a possibilidade de selecionar duas cultivares a partir desse conjunto de linhagens, sendo uma de porte ereto ou semiereto e uma de porte semiprostrado.

Tabela 8. Quantitativo de linhagens $F_{4,5}$ de feijão-caupi do tipo manteiguinha de três cruzamentos, classificadas segundo o porte. Embrapa, Belém, 2020.

Genótipo	Porte ereto	Porte semiereto	Porte semiprostrado
Novas linhagens	50	11	31
Cruzamento 16-04	0	1	7
Cruzamento 16-05	0	6	22
Cruzamento 16-06	50	4	2
Tratamentos comuns	0	0	6

O desenvolvimento de linhagens ajustadas para o cultivo mecanizado tem elevado potencial de contribuição para a expansão na produção do

feijão-caupi tipo manteiguinha, que atualmente ocupa nicho de mercado que vem se desenvolvendo com o avanço da gastronomia e a evolução de hábito alimentar mais diversificado. Ademais, devido ao pequeno tamanho do grão, a demanda por sementes para o plantio do tipo manteiguinha é reduzida significativamente, com impacto direto na redução do custo de produção, sendo este um fator de interesse aos agricultores para o cultivo mecanizado na safrinha, em situações de maior risco climático, como plantio tardio ou anos de *El Niño*.

Os grãos secos de feijão-caupi tipo manteiguinha têm como principal mercado o in natura, sem qualquer tipo de processo agroindustrial, por isso, a qualidade visual dos grãos é fundamental para que as cultivares possam atingir os mercados consumidores (Freire Filho, 2011). Na seleção das linhagens para a próxima etapa de melhoramento genético, além da análise conjunta dos caracteres porte da planta, peso de 100 grãos e ciclo de maturação, considerou-se como prioritária a qualidade visual dos grãos, sendo descartados genótipos de baixo valor visual, independente do desempenho nos demais caracteres. Ao final, entre as 92 linhagens testadas, 35 foram selecionadas (discriminadas na Tabela 6), para avançar para a próxima etapa do melhoramento genético.

Ensaio de avaliação preliminar de segundo ano geração $F_{5,6}$

Segundo a análise de *deviance*, os caracteres produtividade de grãos, peso de 100 grãos e ciclo de maturação apresentaram significância para efeito de genótipo, indicando o potencial para seleção de genótipos superiores (Tabela 9). O caráter produtividade de grãos apresentou efeito de bloco significativo, indicando a eficiência do delineamento experimental em látice no controle local do ambiente, para esse caráter de fundamental interesse. O delineamento em látice foi proposto por Yates (1936), com objetivo de controlar a heterogeneidade ambiental em situações em que existe grande número de tratamentos, que tornam os blocos completos muito grandes, comum em programas de melhoramento genético (Pimentel-Gomes, 1990). Vale ressaltar que, na avaliação preliminar realizada no ciclo anterior, não foi detectado efeito significativo de genótipo para a produtividade de grãos em delineamento de blocos aumentados de Federer, indicando a importância do avanço no programa de melhoramento genético, em que a redução no número de linhagens avaliadas e o aumento da oferta de sementes permite a experimentação em delineamento mais robusto, com mais repetições e parcelas maiores.

Tabela 9. Análise de *deviance* para os caracteres produtividade de grãos, ciclo de maturação e peso de 100 grãos (P100Gr), em ensaio de avaliação preliminar de $F_{5,6}$ de feijão-caupi do tipo manteiguinha. Embrapa, Belém, 2021.

Efeito	Grau de liberdade	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)		P100Gr (g)		Ciclo de maturação (dias)	
		<i>Deviance</i>	LTR ⁽¹⁾	<i>Deviance</i>	LTR	<i>Deviance</i>	LTR
Genótipo	35	1191,22	26,89*	159,36	93,02*	424,68	77,50*
Bloco	17	1178,25	13,92*	66,83	0,50 ^{ns}	348,55	1,37 ^{ns}
Modelo completo	107	1164,33	–	66,34	–	347,18	–

⁽¹⁾ LTR: teste da razão de verossimilhança.

^{ns} não significativo e *significativo a 5% segundo teste Qui-Quadrado.

Traço (–): informação não aplicável.

Os caracteres peso de 100 grãos e ciclo de maturação não apresentaram efeitos significativos de bloco, o que indica o menor efeito ambiental. Devido ao fato da não significância do efeito de blocos nesses caracteres, as análises REML/BLUP foram realizadas sob efeito reduzido de bloco. Aliyu e Makinde (2016), avaliando 21 linhagens melhoradas de feijão-caupi em experimento em blocos ao acaso com três repetições, por 2 anos em um local, obtiveram resultados semelhantes para os caracteres produtividade de grãos, ciclo de maturação e peso de 100 grãos, e recomendaram as melhores linhagens segundo desempenho em múltiplos caracteres, para cultivo comercial e novos cruzamentos no programa de melhoramento genético.

Os valores de acurácia na seleção das melhores linhagens, herdabilidade ajustada da média de linhagem e coeficiente de variação relativa (CVr) foram muitos altos para os caracteres produtividade de grãos, peso de 100 grãos e ciclo de maturação, sendo dos dois últimos mais elevados (Tabela 10), indicando o potencial da população para o melhoramento genético. Quanto maior for o coeficiente de variação relativa (CVr), o qual indica a razão entre coeficiente de variação genotípica (CVgi) e coeficiente de variação residual (CVe), maior é o controle genético do caráter e menor é a influência dos fatores ambientais no fenótipo (Vencovsky; Barriga, 1992). Esse parâmetro é considerado baixo quando apresenta valores entre 0 e 0,25; intermediário para valores entre 0,25 e 0,5; alto para valores entre 0,5 e 0,75 e muito alto para valores acima de 0,75 (Resende, 2002). Aliyu et al. (2021), avaliando 12 linhagens de feijão-caupi de genealogias distintas e contrastantes, em experimentos em blocos ao acaso com três repetições, um local e 2 anos, estimaram valores muito altos de herdabilidade para os caracteres produtividade de grãos ($h^2 = 0,72$), peso de grãos ($h^2 = 0,97$) e ciclo de maturação de 50% das vagens ($h^2 = 0,86$). Esses autores também apresentaram valores de coeficiente de variação fenotípica superiores aos coeficientes de variação

ambiental para essas características, indicando valores de CVr muito altos. Outros estudos com feijão-caupi apresentaram elevados valores de herdabilidade para essas características (Manggoel et al., 2012; Nwosu et al., 2013; Aliyu e Makinde, 2016).

Tabela 10. Componentes de variância (REML individual) para as características produtividade de grãos, ciclo de maturação e peso de 100 grãos (P100Gr), em ensaio de avaliação preliminar de $F_{5,6}$ de feijão-caupi do tipo manteiguinha. Embrapa, Belém, 2021.

Parâmetro ⁽¹⁾	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	P100Gr (g)	Ciclo de maturação (dias)
Vg	53.050,58	1,32	21,41
Vbloc	26.365,36	ns	ns
Ve	35.114,70	0,24	4,50
Vf	114.530,65	1,56	25,91
h^2g	0,46	0,84	0,83
c^2 bloc	0,23	ns	ns
h^2 mlin	0,82	0,94	0,93
Aclin	0,91	0,97	0,97
CVgi%	25,48	14,24	6,36
CVe%	20,73	6,12	2,92
CVr	1,23	2,32	2,18
PEV	9.589,18	0,08	1,40
SEP	97,92	0,28	1,18
Média geral	904,04	8,07	72,71

⁽¹⁾ Vg: variância genotípica; Vbloc: variância ambiental entre blocos; Ve: variância residual; Vf: variância fenotípica individual; $h^2g = h^2$: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais; c^2 bloc = c^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de bloco; h^2 ml: herdabilidade ajustada da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa; Aclin: acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa; CVgi%: coeficiente de variação genotípica; CVe%: coeficiente de variação residual; CVr = CVg/CVe = coeficiente de variação relativa; PEV: variância do erro de predição dos valores genotípicos, assumindo sobrevivência completa; SEP: desvio padrão do valor genotípico predito, assumindo sobrevivência completa; Média geral: média geral do experimento.

^{ns} não significativo.

Para a seleção das melhores linhagens, realizou-se uma análise conjunta dos valores genotípicos dos caracteres produtividade de grãos, ciclo de maturação e peso de 100 grãos, valores fenotípicos do porte da planta (Tabela 11) e avaliação visual da qualidade de grãos. O principal mercado para o feijão-caupi do tipo manteiguinha, é o consumo de grãos secos in natura e, para ter boa aceitação no mercado, necessita ter aspecto visual favorável, por isso, a avaliação visual da qualidade de grãos foi caráter

eliminatório e contou com maior peso. Em relação ao caráter porte da planta, foram selecionadas cinco linhagens de porte semiprostrado, em função de seu destaque na produtividade de grãos, de modo que quatro delas superaram a BRS Natalina nesse caráter. Em função do objetivo de obter linhagens mais ajustadas à colheita mecanizada, foram selecionadas 18 linhagens com porte da planta ereto ou semiereto, que apresentaram como características boa precocidade e produtividade.

Tabela 11. Valores genotípicos (VG) e fenotípicos (VF) de linhagens F_{5,6} de feijão-caupi do tipo manteiguinha avaliadas em ensaio de avaliação preliminar de segundo ano. Embrapa, Belém, 2021.

Código TUC	VG Produtividade de grãos ⁽¹⁾ (kg ha ⁻¹)	VG P100Gr (g)	VG Ciclo de maturação (dia)	VF Porte da planta	Seleção final ⁽²⁾
16-04-2	424,13 ³⁶	7,88 ⁽³⁾	78,38 ³¹	3	–
16-04-6	801,50 ²⁷	8,26 ⁽³⁾	75,60 ²⁵	3	–
16-05-3	964,15 ⁸	7,19 ⁽³⁾	79,77 ³⁵	3	–
16-05-10	851,29 ²¹	6,92	79,75 ³³	3	–
16-05-13	917,02 ¹⁵	6,92	79,76 ³⁴	3	–
16-05-16	1.434,31 ¹	7,00 ⁽³⁾	76,29 ²⁶	3	Selecionada
16-05-17	924,97 ¹³	5,96	76,69 ²⁷	3	–
16-05-20	924,81 ¹⁴	6,54	77,60 ²⁸	3	Selecionada
16-05-21	1.385,54 ²	6,84	74,98 ²⁴	3	Selecionada
16-05-24	1.140,06 ⁴	6,96	78,84 ³²	3	Selecionada
16-05-35	1.351,79 ³	7,20 ⁽³⁾	77,74 ²⁹	3	Selecionada
16-06-1-1	945,75 ¹⁰	7,92 ⁽³⁾	72,41 ²²	1	Selecionada
16-06-1-3	884,48 ²⁰	8,29 ⁽³⁾	71,38 ¹⁷	1	–
16-06-1-5	829,59 ²⁵	7,84 ⁽³⁾	71,59 ¹⁹	1	Selecionada
16-06-3-1	957,91 ⁹	8,73 ⁽³⁾	68,85 ⁸	1	Selecionada
16-06-3-2	931,32 ¹²	9,25 ⁽³⁾	66,15 ¹	1	Selecionada
16-06-3-3	849,16 ²²	9,00 ⁽³⁾	68,08 ⁶	1	Selecionada
16-06-3-4	780,79 ²⁹	8,00 ⁽³⁾	66,37 ²	1	Selecionada
16-06-3-5	627,20 ³⁵	8,69 ⁽³⁾	69,33 ¹⁰	1	–
16-06-3-9	842,43 ²³	9,04 ⁽³⁾	66,86 ³	1	Selecionada
16-06-3-11	780,55 ³⁰	8,29 ⁽³⁾	68,33 ⁷	1	Selecionada
16-06-6-1	654,95 ³³	7,80 ⁽³⁾	73,47 ²³	1	Selecionada
16-06-7-1	989,88 ⁷	8,44 ⁽³⁾	71,89 ²¹	2	Selecionada
16-06-7-12	824,81 ²⁶	9,24 ⁽³⁾	69,63 ¹²	1	–
16-06-7-14	937,92 ¹¹	8,85 ⁽³⁾	70,44 ¹⁴	1	–
16-06-8-1	1.047,72 ⁶	10,04	69,48 ¹¹	1	Selecionada
16-06-8-2	778,87 ³¹	9,54 ⁽³⁾	71,39 ¹⁸	1	Selecionada
16-06-8-6	899,82 ¹⁸	9,52 ⁽³⁾	70,38 ¹³	1	Selecionada
16-06-8-8	909,14 ¹⁶	9,83 ⁽³⁾	70,53 ¹⁵	1	Selecionada
16-06-8-9	842,04 ²⁴	9,19 ⁽³⁾	78,10 ³⁰	1	Selecionada
16-06-8-10	892,81 ¹⁹	9,08 ⁽³⁾	69,21 ⁹	1	Selecionada
16-06-8-11	903,51 ¹⁷	8,93 ⁽³⁾	67,81 ⁵	1	Selecionada
16-06-9-1	645,76 ³⁴	6,65	71,68 ²⁰	1	–
16-06-9-3	784,34 ²⁸	6,00	70,75 ¹⁶	1	–
16-06-9-12	733,43 ³²	7,58 ⁽³⁾	67,44 ⁴	1	Selecionada

Continua...

Tabela 11. Continuação.

Código TUC	VG Produtividade de grãos ⁽¹⁾ (kg ha ⁻¹)	VG P100Gr (g)	VG Ciclo de maturação (dia)	VF Porte da planta	Seleção final ⁽²⁾
BRS Natalina	1.135,25 ⁵	6,95	80,49 ³⁶	3	Cultivar testemunha
Média geral	903,58	8,07	72,71	–	–
Média linhagens selecionadas	943,57	8,30	71,56	–	–
Média linhagens descartadas	798,97	7,57	74,43	–	–
Média/Moda Cruz. 16-04 ⁽⁴⁾	613,41	8,07	76,99	3	–
Média/Moda Cruz. 16-05 ⁽⁴⁾	1057,85	6,77	77,84	3	–
Média/Moda Cruz. 16-06 ⁽⁴⁾	845,24	8,57	70,06	1	–

⁽¹⁾ Números sobrescritos nos valores genotípicos da produtividade indicam o ranque da linhagem.

⁽²⁾ A seleção foi baseada no conjunto de caracteres, com a seguinte escala de peso: qualidade visual de grãos > porte da planta = produtividade > ciclo de maturação > peso de 100 grãos.

⁽³⁾ Linhagens com peso de 100 grãos (P100Gr) com valores genotípicos entre 7 e 10 g, tamanho preferencial para mercado.

⁽⁴⁾ Caracteres produtividade de grãos, ciclo de maturação e P100Gr expressos segundo as médias dos valores genotípicos e porte segundo a moda dos valores fenotípicos.

Traço (–): informação não aplicável.

As duas linhagens avaliadas, oriundas do cruzamento 16-04, apresentaram baixos valores no conjunto de caracteres avaliados, por isso foram descartadas (Tabela 11). Dessa forma, esse cruzamento não possui mais linhagens representantes para as próximas etapas do melhoramento genético.

O cruzamento 16-05 foi representado por linhagens com porte semiprostrado e apresentou o maior valor médio de produtividade de grãos, ciclo de maturação mais tardio e tamanho de grãos próximo aos limites inferiores da faixa considerada ideal. Apesar de o porte da planta não ser ajustado à colheita mecanizada, o elevado potencial produtivo motivou a seleção de cinco linhagens desse cruzamento para a próxima etapa do melhoramento genético, a fim de selecionar uma linhagem para utilização como genitor em novos ciclos de melhoramento, ou ainda recomendação de cultivar para agricultores que não dispõem de mecanização e têm preferência por cultivares que possibilitem maior número de colheitas, conforme observado em linhagens de porte enramador.

O cruzamento 16-06 foi caracterizado pelos portes da planta ereto (maioria) e semiereto, ajustado à colheita mecanizada, maior precocidade de maturação e potencial produtivo intermediário entre os outros dois cruzamentos. Durante a experimentação (setembro a novembro de 2021), a condição climática foi atípica para o período em Belém, com volume pluviométrico acima da média, que levou a muito encharcamento do solo, comprometeu a densidade populacional

e prejudicou o desenvolvimento das plantas. Observações visuais indicam que as linhagens de portes ereto e semiereto foram mais prejudicadas por essas condições climáticas desfavoráveis, pois as linhagens de porte enramador tiveram maiores condições de compensar falhas decorrente da mortalidade de plantas e tempo para recuperar o baixo desenvolvimento. Dessa forma, entende-se que a próxima fase do melhoramento genético, que envolve a experimentação em rede de ensaios de VCU em anos e locais diferentes, cumprirá o papel de selecionar as melhores linhagens em condições mais representativas para os plantios comerciais.

Ao comparar os valores médios das 23 linhagens selecionadas, foram observados valores maiores que a média geral nos caracteres produtividade de grãos, peso de 100 grãos e ciclo de maturação até colheita (Tabela 11). Além disso, destaca-se que essas linhagens apresentaram resistência aos vírus CPSMV e *Cowpea aphid-bone mosaic virus* (CABMV). Em função dos resultados promissores alcançados na experimentação preliminar, as linhagens selecionadas avançarão para a próxima etapa do melhoramento genético, que envolve a rede de VCU, em que estas 23 linhagens e a BRS Natalina serão avaliadas em quatro locais (Belém, Tracuateua, Augusto Corrêa e Paragominas) por 2 anos agrícolas (2022 e 2023), para a seleção final das linhagens superiores, visando a obtenção de cultivares e genitores para novos ciclos de melhoramento genético.

Conclusões

Um total de 23 linhagens de feijão-caupi tipo manteiguinha oriundas de três cruzamentos apresentam potencial de superar a cultivar BRS Natalina em atributos de interesse agrônomo, incluindo qualidade de grãos, produtividade de grãos, resistência aos vírus CPSMV e BCMV e porte da planta mais ajustado à colheita mecanizada.

A seleção precoce para resistência ao vírus CPSMV na seleção F₂, baseada no modelo estimado de um alelo e dois locos em dominância completa, com a resistência associada ao alelo recessivo é eficiente para o melhoramento genético de feijão-caupi.

Agradecimentos

Ao Dr. Walkymário de Paulo Lemos, Dr. Adriano Venturieri, Dr. Austrelino Silveira Filho e Dr. Claudio José Reis de Carvalho, chefes-gerais da Embrapa Amazônia Oriental, e a toda a equipe administrativa, durante o período de realização deste trabalho, pelo apoio, consideração e atenção dada à equipe do Programa de Melhoramento Genético de Feijão-Caupi.

A Jorge Luiz Ramalho da Silva, Juvenal Soares Galdino, Luiz Otávio Almeida da Silva, da equipe de apoio do Programa de Melhoramento Genético de Feijão-Caupi, pelo alegre e agradável convívio, amizade, atenção e consideração.

A toda a equipe de apoio de campo pela atenção e valiosa colaboração na implantação e manejo dos experimentos, representados por Fernando Lopes Shikama, Marcelo Gouveia da Silva Dias e Vitor Varlei Vasconcelos Seabra.

Aos setores de logística e manutenção da Unidade, representados por Arthur Anderson Rodrigues Mota e Arnaldo Ribeiro Nunes.

Ao Setor de Gestão de Pessoas, representado por Liza Castelo Branco Barros.

À Dra. Noemi Viana Martins Leão, Elizabeth Santos Cordeiro Shimizu, Alethéa Fernanda Lisboa Almeida, Jorge de Almeida, Valdemir Rodrigues de Lira, Neusa Maria da Silva Ferreira e Ivanildo Alves Trindade, pela valiosa colaboração na conservação das sementes da coleção de germoplasma de trabalho de feijão-caupi.

A Andrea Liliâne Pereira da Silva, José Ribamar dos Santos, José Maria da Silva Fernandes e Maria José Pinheiro Rodrigues, pela atenção e pelo pronto atendimento às solicitações feitas à biblioteca.

A Luciana Serra da Silva Mota, Sara Lucas Araújo, Gisele Queiroz Trajano, Alice Danúzia

de Souza Feijó, Maria Stela Almeida de Souza, Francisco Bezerra Lima e Luciana Aquila de Jesus dos Santos, pelo apoio nos assuntos administrativos.

Referências

- AGRIANUAL on line, 2021. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2021. Disponível em: <http://www.agriannual.com.br/>. Acesso em: 25 maio 2021.
- ALIYU, O. M.; MAKINDE, B. O. Phenotypic analysis of seed yield and yield components in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Plant Breeding and Biotechnology**, v.4, n. 2, p.252–261, 2016.
- ALIYU, O. M.; TIAMIYU, A. O.; USMAN, M.; ABDULKAREEM, Y. F. Variance components, correlation and path analyses in cowpea (*Vigna unguiculata* L., Walp). **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 25, p. 173-182, 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BASTOS, E. A (ed.). **Cultivo de feijão-caupi**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2021. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção Embrapa). 2ª ed. Disponível em: https://www.spo.cnpia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaof6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=9109&p_r_p_-996514994_topicold=10505
- BOARI, A. J.; CORDOVIL, G. A.; KAUFFMANN, C. M.; GAVINHO, B. E. S.; QUADROS, A. F. F.; PANTOJA, K. F. C.; GOMES JUNIOR, R. A.; FREIRE FILHO, F. R.; OLIVEIRA, R. P.; KITAJIMA, E. W. Bean common mosaic virus infecting manteiguinha cowpea (*Vigna unguiculata*): seed transmission, evaluation of yield loss and genetic resistance. **Tropical Plant Pathology**, v.47, p. 450-455, 2022.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5 ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares - RNC**. Brasília, DF: CultivarWeb. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 25 maio 2021.
- CONAB. **Boletim da Safra de Grãos**: acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2022/23 9º levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>. Acesso em: 23 maio 2022.

IBGE. **Censo demográfico 2022**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=notas-tecnicas>. Acesso em: 26 jan. 2024.

FILGUEIRAS, G. C.; SANTOS, M. A. S. dos; HOMMA, A. K. O.; REBELLO, F. K.; CRAVO, M. da S. Aspectos socioeconômicos. In: ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. (ed.). **A Cultura do feijão-caupi na Amazônia Brasileira**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. p. 23-58.

FREIRE FILHO, F. R. (ed.). **Feijão-caupi: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2011. 84 p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, C. A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 29-92.

FREIRE FILHO, F. R.; RODRIGUES, J. E. L. F.; RIBEIRO, V. Q.; GOMES JUNIOR, R. A.; EL HUSNY, J. C. Produtividade de linhagens e cultivares crioulas de feijão-caupi, tipo manteiguinha, no estado do Pará. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2019, Fortaleza.–. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: Embrapa, 2019. CONAC.

Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos do INMET**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 23 maio 2022.

LIMA, L. R.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMES JUNIOR, R. A.; BOARI, A. J.; OLIVEIRA, H. S. Herança e incorporação de gene de resistência ao CpSMV em genótipos de feijão-caupi subclasse manteiga. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2019, Fortaleza.–. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: Embrapa, 2019

MANGGOEL, W.; UGURU, M. I.; NDAM, O. N.; DASBAK, M. A. Genetic variability, correlation and path coefficient analysis of some yield components of ten cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] accessions. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 80-86, 2012.

MATOS FILHO, C. H. A.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. de A.; NUNES, J. A. R. Herança de caracteres relacionados à arquitetura da planta em feijão-caupi. **Ciência Rural**, v. 44, n. 4, p.599-604, 2014.

MATOS FILHO, C. H. A.; GOMES, R. L. F.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, R. R.; LOPES, A. C. de A. Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, p.348-354, 2009.

MOHAMMED, M. S.; RUSSOM, Z.; ABDUL, S. D. Inheritance of hairiness and pod shattering, heritability and correlation studies in crosses between cultivated cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and its wild (var. *pubescens*) relative. **Euphytica**, v.171, p.397-407, 2010.

NWOSU, D. J.; OLATUNBOSUN, B. D.; ADETILOYE, I. S. Genetic variability, heritability and genetic advance in cowpea genotypes in two agroecological environments. **Greener Journal of Biological Science**, v. 3, n. 5, p. 202-207, 2013.

OMOIGUI, L. O.; ISHIYAKU, M. F.; KAMARA, A. Y.; ALABI, S. O.; MOHAMMED, S. G. Genetic variability and heritability studies of some reproductive traits in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 13, p. 1191-1195, 2006.

PANCHTA, R.; ARYA, R. K.; VU, N. N.; BEHL, R. K. Genetic divergence in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) – an Overview. **Journal of Crop Breeding and Genetics**, v.7, n.1, p. 1-20, 2021.

PHILLIPS, R. D.; McWATTERS, K. H.; CHINNAN, M. S.; HUNG, Y.-C.; BEUCHAT, L. R.; SEFA-DEDEH, S.; SAKYI-DAWSON, E.; NGODDY, P.; NNANYELUGO, D.; ENWERE, J. KOMEY, N. S.; LIU, K.; MENSA-WILMOT, Y.; NNANNA, I. A.; OKEKE, C.; PRINYAWIWATKUL, W.; SAALIA, F. K. Utilization of cowpeas for human food. **Field Crops Research**, v. 82, n. 2/3, p. 193-213, 2003.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1990. 240 p.

RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Floresta, 2007. 362p.

RESENDE, M. D. V. **Software Selegen-Reml/Blup**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2002. 67 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SILVA, J. D. L.; TORRES, M. H. R. M.; LIMA, L. R. L.; GOMES, R. L. F.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; NEVES, A.C. Divergência genética entre linhagens de feijão-caupi subclasse comercial fradinho. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2019, Fortaleza.–. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: Embrapa, 2019.

SOUSA, M. B.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; NEVES, A. C. Estimativas de parâmetros genéticos em linhagens de feijão-caupi nos municípios de Balsas, MA e Primavera do Leste, MT. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife. **Anais...** Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco, 2013., CONAC

TORRES, M. H. R. M.; SILVA, J. D. L.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; NEVES, A. C. Estimação de parâmetros genéticos em linhagens $F_{6,7}$ de feijão-caupi. In CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife. **Anais...** Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco, 2013 CONAC.

VALE, J. R. B. Análise temporal das atividades agropastoris nas áreas desflorestadas do estado do Pará – Brasil. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 6, n. 2, 2020.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

YATES, F. A new method of arranging variety trials involving a large number of varieties. **Journal of Agricultural Science**, v.26, n. 3, p. 424-455, 1936.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA