



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

MARCOS GARRETO MEIRELES

**GENEALOGIA E BASE GENÉTICA DOS CULTIVARES BRASILEIROS DE
FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**

**Chapadinha – MA
2022**

MARCOS GARRETO MEIRELES

**GENEALOGIA E BASE GENÉTICA DOS CULTIVARES BRASILEIROS DE
FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de pesquisa: Bioprospecção de produtos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Ferreira do Nascimento.

Chapadinha – MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Garreto Meireles, Marcos.

GENEALOGIA E BASE GENÉTICA DOS CULTIVARES
BRASILEIROS DE FEIJÃO-CAUPI *Vigna unguiculata* L. Walp /
Marcos Garreto Meireles. - 2022.
51 p.

Orientador(a): Wellington Ferreira do Nascimento. Dissertação
(Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências
Ambientais/ccch, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha,
2022.

1. Cruzamentos. 2. Espécies Leguminosas. 3. Genes
Citoplasmáticos. 4. Genótipos. 5. Pedigrees.
I. Ferreira do Nascimento, Wellington. II. Título.

Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

MARCOS GARRETO MEIRELES

**GENEALOGIA E BASE GENÉTICA DOS CULTIVARES BRASILEIROS DE
FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de pesquisa: Bioprospecção de produtos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Ferreira do Nascimento.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wellington Ferreira do Nascimento (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Marcos Vinícius Bohrer Monteiro Siqueira
Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal

Profª. Dra. Iradênia da Silva Sousa
Universidade Federal do Maranhão

Aos meus pais: Vandilmo P. Meireles e
Ângela do Nascimento Garreto, e a minha
avó: Maria do Socorro Ribeiro do
Nascimento, pelo apoio e amor
incondicionais recebidos ao longo da
vida!

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por iluminar a minha vida em todos os momentos, por honrar a minha fé, dando-me forças para ir adiante durante os momentos difíceis dessa caminhada e a Nossa Senhora da Boa Nova por iluminar meus passos rumo a conquista do saber.

Sou grato a todos aqueles que, contribuíram com o meu crescimento humano, espiritual e intelectual. Toda essa contribuição me auxiliou a persistir no caminho e chegar ao final dessa jornada. Por mais essa etapa vencida, agradeço, especialmente:

Ao meu orientador professor Dr. Wellington Ferreira do Nascimento, um educador magnânimo. Agradeço sua compreensão, incentivo, paciência e conselhos durante todo esse processo: “Tens sido um pai para mim”.

Aos meus pais Ângela do Nascimento Garreto e Vandilmo P. Meireles, meus irmãos Mateus, Marcelo e Mauricio Garreto Meireles e a toda família “Garreto”, por compartilharem comigo deste sonho e pelo estímulo diário, em especial a minha avó materna Maria do Socorro Ribeiro do Nascimento e minha tia e madrinha Isabel do Nascimento Garreto, que nestes anos tem sido uma mãe.

Aos meus amigos(as) Edson da Conceição Carvalho, Laís Lourenço, Maria Sônia Garreto e Ana Célia Lourenço, companheiros de vida, que se fizeram sempre presentes me encorajando e apoiando nessa jornada.

Aos amigos e pesquisadores de minha jornada acadêmica no CCCh/UFMA e no PPGCAM, em especial, Maria Helena Cruz dos Santos, Gerly da Silva Oliveira e Valéria Oliveira Alves, assim como a todos os docentes do programa.

Aos meus amigos e companheiros do laboratório de Genética Molecular de Plantas-GEMOP, Joellyson Lucas, João Victor, Ana Paula e José Ribamar. Assim como aos “Hermanos”, André Silva, John Rallff e Jadson pelos momentos de alegria e aventura compartilhados.

Aos participantes da banca examinadora, Prof. Dr. Marcos Vinícius Bohrer Monteiro Siqueira (UEMG) e a Prof^a. Dra. Iradênia da Silva Sousa (UFMA) pelo tempo concedido, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Cordialmente agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela bolsa concedida.

“Nada temas, porque estou contigo, não lances olhares desesperados, pois eu sou teu Deus; eu te fortaleço e venho em teu socorro, eu te amparo com minha destra vitoriosa.”

(Is 41,10)

SUMÁRIO

1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
1.1	Taxonomia e aspectos botânicos do feijão-caupi.....	14
1.2	Origem e breve histórico do feijão-caupi.....	16
1.3	Importância nutricional.....	17
1.4	Produção e impacto socioeconômico.....	18
1.5	Estudos de base genética	21
1.6	Melhoramento genético de feijão-caupi no Brasil	23
1.7	Estratégias para ampliação da base genética.....	26
2	OBJETIVOS.....	27
2.1	Objetivo geral.....	27
2.2	Objetivos específicos.....	27
	REFERÊNCIAS.....	28
	CAPÍTULO 2 – Genealogia e base genética dos cultivares brasileiros de feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.)	35
1	INTRODUÇÃO	36
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFLP -	Amplified Fragment Length Polymorphism
CCCh -	Centro de Ciências de Chapadinha
CGA -	Contribuição genética relativa acumulada
CGR -	Contribuição genética relativa
CONAB -	Companhia Nacional de Abastecimento
EBDA -	Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola
EMAPA -	Empresa Maranhense de Pesquisa Agropecuária
EMEPA -	Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba
EMPARN -	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
EPACE -	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Ceará
EMAMIG -	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
FAO -	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
GEMOP -	Laboratório de Genética Molecular de Plantas
IITA -	International Institute of Tropical Agriculture
IMEA -	Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária
IPA -	Instituto Agrônomo de Pernambuco
MAPA -	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PIB -	Produto Interno Bruto
RGC -	Relative genetic contribution
RNC -	Registro Nacional de Cultivares
SSR -	Simple sequence repeats
UFC -	Universidade Federal do Ceará
UFMA -	Universidade Federal do Maranhão

LISTA DE SÍMBOLOS

A e B - genitores de X

C e D - genitores de Y

f - coeficiente de parentesco entre dois indivíduos

X - indivíduo 1

Y - indivíduo 2

% - porcentagem

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

Tabela 1 – Comparativo entre área, produtividade e produção do feijão-caupi nas safras 2020/21 e 2021/22	18
---	----

CAPÍTULO 2 - Genealogia e base genética dos cultivares brasileiros de feijão-caupi

Tabela 1 - Relação dos cultivares de feijão-caupi lançados no Brasil de 1960 a 2020 (List of cowpea cultivars released in Brazil from 1960 to 2020) Brasil, UFMA, 2021.	40
Tabela 2 - Contribuição genética relativa (CGR) e acumulada (CGA) dos ancestrais dos cultivares de feijão-caupi (Relative genetic contribution (RGC) and cumulative genetic contribution (CGA) of ancestors of cowpea cultivars) Brasil, UFMA, 2021.	44
Tabela 3 - Relação dos ancestrais que contribuíram com os genes citoplasmáticos dos cultivares de feijão-caupi (List of ancestors that contributed the cytoplasmic genes of cowpea cultivars). Brasil, UFMA, 2021.	47

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

Figura 1. Planta de feijão-caupi.....	14
--	----

CAPÍTULO 2 - Genealogia e base genética dos cultivares brasileiros de feijão-caupi

Figura 1. Genealogias dos cultivares de feijão-caupi utilizadas para os cálculos de contribuição genética relativa e acumulada dos ancestrais (Genealogies of the cowpea cultivars used for the calculations of relative and cumulative genetic contribution of the ancestors). Os retângulos destacados em cinza representam os cultivares. Brasil, UFMA, 2021.	43
--	----

RESUMO

A ampliação das áreas de produção e do mercado consumidor do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) têm propiciado novas demandas aos objetivos do melhoramento genético da cultura. Neste contexto, o conhecimento do status da base genética desta cultura é de fundamental importância para o manejo e conservação desse recurso genético. O objetivo deste trabalho é estimar a base genética dos cultivares de feijão-caupi recomendados e lançados no Brasil entre os anos de 1960 e 2020, identificar os ancestrais de cada cultivar, bem como identificar a origem de seus genes citoplasmáticos. Para obtenção dessas informações foram elaborados os pedigrees dos cultivares. Foram encontrados 45 cultivares de feijão-caupi provenientes do cruzamento entre 81 genótipos. Em relação à contribuição genética relativa dos ancestrais, observou-se que Pitiúba tem contribuído com 3,01% para a formação dos cultivares, em seguida aparecem Seridó e CNC 0434 cada um contribuindo com 2,81% e 2,78% respectivamente. Em seguida, observa-se Guariba, Vita 3 e Sempre Verde contribuindo com 2,11% cada, e Tvu 410 apresentando uma contribuição de 2,06%. Estes contribuem juntos com 16,98% do conjunto gênico total dos cultivares. Ainda merecem destaque 19 ancestrais que participaram com 37% da base genética dos 45 cultivares. Quanto a origem dos genes citoplasmáticos temos que dos 81 ancestrais utilizados nos cruzamentos dos cultivares, 38 foram utilizados como genitores femininos. Sendo os ancestrais Pitiúba, CNC 0434, Seridó, IT85F-2687 e BR10 Piauí, as fontes ancestrais citoplasmáticas mais significativas. Baseados nos dados obtidos, temos que a base genética do feijão-caupi é relativamente estreita.

Palavras-chave: Cruzamentos; Espécies leguminosas; Genes citoplasmáticos; Genótipos; Pedigrees.

ABSTRACT

The expansion of production areas and consumer market of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) has led to new demands on the objectives of genetic improvement of the crop. In this context, the knowledge of the status of the genetic base of this crop is of fundamental importance for the management and conservation of this genetic resource. The objective of this work is to estimate the genetic base of the cowpea cultivars recommended and released in Brazil between the years 1960 and 2020, to identify the ancestors of each cultivar, as well as to identify the origin of their cytoplasmic genes. To obtain this information, the pedigrees of the cultivars were elaborated. Forty-five cowpea cultivars were found to come from the crossing between 81 genotypes. Regarding the relative genetic contribution of the ancestors, it was observed that Pitiúba has contributed with 3.01% for the formation of cultivars, followed by Seridó and CNC 0434 each contributing with 2.81% and 2.78%, respectively. Next are Guariba, Vita 3 and Sempre Verde contributing 2.11% each, and Tvu 410 contributing 2.06%. Together, these contribute 16.98% of the total gene *pool* of the cultivars. Still worth mentioning are 19 ancestors that participated with 37% of the genetic base of the 45 cultivars. Regarding the origin of the cytoplasmic genes, of the 81 ancestors used in the crossings of cultivars, 38 were used as female genitors. Being the ancestors Pitiúba, CNC 0434, Seridó, IT85F-2687 and BR10 Piauí, the most significant cytoplasmic ancestral sources. Based on the data obtained, we have that the genetic base of the cowpea bean is relatively narrow.

Keywords: Crossbreeding; Legume Species; Cytoplasmic Genes; Genotypes; Pedigrees.

CAPÍTULO I – Considerações gerais

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Taxonomia e aspectos botânicos do feijão-caupi

O feijão-caupi (figura 1), inicialmente, foi classificado nos gêneros *Phaseolus* e *Dolichos*, até ser reclassificado no gênero *Vigna*, o qual foi estabelecido por Savi (1894). Isso ocorreu em função da grande variabilidade genética existente dentro da espécie e nas espécies silvestres geneticamente mais próximas (Phillips, 1951, citado por Sellschop, 1962).

Figura 1. Planta de feijão-caupi.



Fonte: google fotos

O feijão-caupi é uma planta Dicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção Catyang, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (Maréchal et al., 1978; Padulosi; Ng, 1997; Smartt, 1990; Verdcourt, 1970).

A partir de um estudo morfológico envolvendo um grande número de acessos e caracteres, Pasquet (1998) propôs mais um cultigrupo, o qual foi separado do *Unguiculata*, o cultigrupo *Melanophthalmus*. No Brasil são cultivados os cultigrupos *Unguiculata* e *Melanophthalmus* para produção de grão seco e feijão-verde, e *Sesquipedalis*, comumente chamado de feijão-de-metro, para produção de vagem (Freire Filho et al., 2011).

É uma espécie autógama, herbácea e anual (Singh et al., 2002; Machado et al., 2007), destaca-se por ser uma leguminosa adaptada e cultivada em regiões secas dos trópicos e subtropicais do planeta (Boukar et al., 2016; Miranda, 2010). Considerada rústica, com ampla capacidade de adaptação e de alto potencial produtivo e grande variabilidade genética,

podendo ser explorada em diferentes sistemas de produção (Freire Filho et al., 2005; Andrade et al., 2010).

Os frutos são do tipo vagem que variam de cor, forma, tamanho e número de 10 a 20 sementes por vagem. As sementes desta espécie apresentam grande diversidade de cores, e são classificadas quanto a sua forma: reniforme, globosa, ovoide e romboide. A massa de 100 sementes pode variar de 10 a 30 gramas, podendo apresentar tegumento liso ou rugoso (Do Vale et al., 2017).

Quanto ao tipo comercial de grãos, Freire Filho et al. (2011) classificaram as cultivares de feijão-caupi em três classes, com subclasses distintas. A classe branco, com o mínimo de 90% de grãos com tegumento de coloração branca (subclasses branco liso, subclasse branco rugoso, subclasse olho-marrom e subclasse olho-vermelho). A classe preto, com o mínimo de 90% de grãos com tegumento de coloração preta, podendo apresentar brilho ou ser opaco (subclasse preto fosco e subclasse preto brilhoso). A classe cores, com o mínimo de 90% de grãos da classe cores, admitindo-se até 10% de outras cultivares da classe cores, que apresentem contraste na cor ou no tamanho (subclasse mulato liso, subclasse canapu, subclasse verde, subclasse manteiga, subclasse vinagre, subclasse azulão, subclasse corujinha, e a subclasse rajada).

Por fim, os produtos que não atendem às especificações de nenhuma das classes anteriores, classificados como misturados (grãos de diferentes classes e que não atendem às especificações). As cultivares de feijão-caupi também podem ser classificadas, com base na origem do germoplasma, em cultivares locais e melhoradas (Freire Filho et al., 2000).

A cultura do feijão-caupi possui diferentes tipos de arquitetura de planta, sendo encontradas plantas de porte ereto, semiereto, semiprostrado ou prostrado (Rocha et al., 2017; Wang et al., 2017). As de porte ereto são fundamentais para viabilizar colheita mecanizada e as plantas de porte prostrado, no entanto, são utilizadas por pequenos agricultores que fazem a colheita manual e em cultivos consorciados (Menezes Júnior et al., 2017).

De acordo Freire Filho et al. (2005), o ciclo de maturação do feijão-caupi, período compreendido entre a emergência e a maturação fisiológica das sementes, pode ser dividido da seguinte forma: Plantas de ciclo super precoce, na qual engloba aquelas plantas que atingem a maturidade até 60 dias depois da semeadura; as de ciclo precoce, engloba as que chegam na maturidade entre 61 e 70 dias depois da semeadura; as de ciclo médio, na qual as plantas que pertencem a esse grupo atingem a maturidade entre 71 e 90 dias depois da semeadura; as ciclo médio precoce, com maturação entre 71 e 80 dias; as de ciclo médio tardio com maturação entre

81 e 90 dias, e por fim, as de ciclo tardio, na qual as plantas atingem a maturidade a partir de 91 dias depois da semeadura.

O hábito de crescimento apresenta-se indeterminado, todavia, algumas das novas variedades com maturação precoce, apresentam fenótipo para crescimento determinado. O sistema radicular é formado por uma raiz principal, pivotante, com ramificações laterais, que podem atingir mais de 2 m de profundidade, e confere notável resistência da cultura à seca (Timko et al., 2007).

A estrutura da planta madura varia dependendo do genótipo, e o seu crescimento e desenvolvimento vegetal é influenciado pela temperatura durante o crescimento, pelo fotoperíodo em que a planta cresce. A incidência do vento pode aumentar o consumo de água e afetar o desempenho da cultura. Além da radiação solar, que influencia diretamente na fotossíntese das plantas. A cultura exige, aproximadamente, 300 mm de precipitação para que se produza satisfatoriamente, sem a necessidade de prática de irrigação (Bastos, 2021).

1.2 Origem e breve histórico do feijão-caupi

Várias proposições foram feitas com o objetivo de se estabelecer a origem do feijão-caupi, sendo o continente africano apontado como o centro de origem e diversificação da espécie (Freire Filho, 1988; Mendonça et al., 2015). O Oeste da África, mais precisamente a Nigéria, é atualmente considerada como centro de origem da espécie, visto que conta com 170 espécies catalogadas, das quais 66 são endêmicas (Singh et al., 2002). Um dado que tem contribuído para esta evidência é o local de origem de tipos selvagens, pois como apontam Steele e Mehra (1980), normalmente não são encontradas fora da África grãos selvagens da espécie.

A introdução do feijão-caupi no Brasil ocorreu por volta do século XVI, a partir do Estado da Bahia pelos colonizadores espanhóis e portugueses (Nascimento, 2011), e em seguida, disseminados para outras áreas do Nordeste e demais regiões do país (Freire Filho et al., 2011). Há relatos de que em 1568, já tinha a indicação da existência de muitas variedades de feijões cultivadas na Bahia (Souza, 1974; Gandavo, 2008), e no ano de 1697 o feijão-caupi já era cultivado no Piauí (Dias, 2008), demonstrando a intensa disseminação da cultura no país.

Existe uma alta variabilidade genética associada com a cultura do feijão-caupi (Correa et al., 2012). Esta cultura exótica, foi introduzida no Brasil há aproximadamente quatro séculos, período suficiente para que tenham ocorrido cruzamentos, segregações e também mutações, sendo essas disseminadas em sucessivos plantios, contribuindo assim para

a alta variabilidade atual, pois constituem o germoplasma básico do Brasil, de modo que as primeiras cultivares melhoradas geneticamente surgiram a partir delas (Freire Filho et al., 2011).

As cultivares de feijão-caupi apresentam variações fenotípicas em seus grãos e devido a essa diversidade recebe muitos nomes populares no Brasil que variam de acordo com a região do país: feijão de corda, feijão-macassar, feijão fradinho, feijão de praia, feijão da colônia, feijão da estrada e feijão miúdo. Em outros países também apresentam diferentes nomes: feijão fradinho (Portugal), frijol de castilla (Peru), frijol caupi (Colômbia), camba (Bolívia), porotro (Paraguai), cowpea (Estados Unidos), pelon (México), wake (Nigéria), nhemba (Moçambique), feijão macúndi (Angola), entre outros nomes. E o nome popular mais utilizado no meio técnico é o caupi, derivado da palavra inglesa “cowpea” (Freire Filho et al. 1983; Freire Filho et al., 2011).

1.3 Importância nutricional

A cultura do feijão-caupi é considerada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) como uma das melhores opções para o aumento de oferta de proteínas, devido ao baixo custo de produção (FAO, 2018). É também uma cultura de potencial estratégico diante de perspectivas de mudanças climáticas e da necessidade de alimentos em todo mundo.

Globalmente, o feijão-caupi é uma das leguminosas mais bem adaptadas, versátil e nutritiva entre as espécies cultivadas. Comporta-se como um importante alimento e componente fundamental dos sistemas de produção nas regiões secas dos trópicos (Singh et al., 2002). Seus grãos são ricos em proteínas, carboidratos e ácido fólico, e contêm quantidades consideráveis de alguns minerais como zinco, ferro e cálcio (Boukar et al., 2016).

Boukar et al. (2011) relataram que os grãos de feijão-caupi contêm em média 25% de proteína e minerais, 53,2 mg/kg de ferro, 38,1 mg/kg de zinco, 826 mg/kg de cálcio, 1.915 mg/kg de magnésio, 14.890 mg/kg de potássio e 5.055 mg/kg de fósforo. É uma excelente fonte de carboidratos, 62% em média, e vitaminas, além de grande quantidade de fibras dietéticas e baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2% em média). Outro aspecto importante é que as sementes de feijão-caupi possuem oito aminoácidos essenciais, fenilalanina (1,75 mg/kg), lisina (1,58 mg/kg), leucina (1,42 mg/kg), isoleucina (1,37 mg/kg), treonina (1,24 mg/kg), valina (1,22 mg/kg), metionina (1,15 mg/kg), e triptofano (0,17 mg/kg) (Araújo, 1997).

1.4 Produção e impacto socioeconômico

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) publicou dados oficiais da produção de feijão-caupi no Brasil, o segundo feijão mais cultivado no país, ficando atrás apenas no feijão comum. A produção nacional na safra 2020/2021 foi de 623,8 mil toneladas, com área plantada de 1.349,6 ha, resultando numa produtividade de 462 kg/ha, o que colocaria o Brasil em destaque como terceiro maior produtor de feijão-caupi no mundo (CONAB, 2022).

Tabela 1 – Comparativo entre área, produtividade e produção do feijão-caupi safras 2020/21 e 2021/22 no Brasil.

Feijão-caupi (1ª, 2ª e 3ª safra) – Safras 2020/21 e 2021/22	ÁREA (Em mil ha)		PRODUTIVIDADE (Em kg/ha)		PRODUÇÃO (Em mil t)	
	Safra 20/21	Safra 21/22	Safra 20/21	Safra 21/22	Safra 20/21	Safra 21/22
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
NORTE	90,3	114,5	995	1.047	89,9	119,8
RR	1,5	3,5	1.200	1.132	1,8	4,0
AC	5,2	5,3	550	550	2,9	2,9
AM	2,7	2,7	900	900	2,4	2,4
PA	22,9	22,9	792	801	18,1	18,3
TO	58,0	80,1	1.114	1.151	64,7	92,2
NORDESTE	1.068,0	1.088,7	330	409	352,6	445,0
MA	48,0	48,4	559	573	26,9	27,8
PI	194,2	199,8	305	425	59,4	84,9
CE	386,2	399,3	287	323	110,8	129,0
RN	43,3	43,3	412	412	17,8	17,8
PB	66,8	76,8	289	400	19,3	30,7
PE	128,7	120,3	249	305	32,1	36,6
AL	6,3	6,3	609	620	3,8	3,9
BA	194,5	194,5	424	588	82,5	114,3
CENTRO-OESTE	174,5	145,8	986	1.031	172,0	150,3
MT	161,4	130,7	969	1.009	156,3	131,9
GO	13,0	15,0	1.200	1.220	15,6	18,3
DF	0,1	0,1	1.240	1.410	0,1	0,1
SUDESTE	16,8	16,4	549	551	9,3	9,0
MG	16,8	16,4	549	551	9,3	9,0
NORTE/NORDESTE	1.158,3	1.203,2	382	470	442,5	564,8
CENTRO-SUL	191,3	162,2	948	982	181,3	159,3
BRASIL	1.349,6	1.365,4	462	530	623,8	724,1

Fonte: Adaptado das estimativas da CONAB (Março 2022).

Neste mesmo período, a produção de feijão-caupi se concentrou na região Nordeste com 352,6 mil toneladas, o que representa 56,5% da produção do país. Entre os Estados nordestinos, o Ceará merece destaque por apresentar a maior área plantada (386,2 mil hectares) e a segunda maior produção (110,8 mil toneladas), perdendo apenas para o Mato Grosso (156,3 mil toneladas), no Centro-oeste (CONAB, 2022).

Entretanto, alguns estados apresentam maiores produtividades, como Alagoas (609 kg/ha), Maranhão (559 kg/ha) e Bahia (424 kg/ha). Alcançou destaque devido sua produtividade, o estado do Maranhão que na safra de 20/21 produziu 26,9 mil toneladas em uma área correspondente a 48,0 ha, desta forma o feijão-caupi tem conquistado espaço nas lavouras maranhenses (CONAB, 2022).

É importante destacar que a região Nordeste se destaca pela alta produção, porém apresenta baixa produtividade. A utilização de baixo nível tecnológico, a irregularidade das chuvas e o emprego de cultivares pouco adaptadas às condições de cultivo, estão entre os principais fatores que provocam o baixo rendimento (Matos Filho et al., 2009). Entretanto, isso não reflete o potencial genético das cultivares melhoradas, mas justifica-se pela maior parte do cultivo do feijão-caupi ser realizado por pequenos produtores que ainda fazem uso de técnicas tradicionais de cultivo (Silva, 2018).

Vale ressaltar que a cultura atualmente está conquistando espaço na região Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Na região Centro-Oeste, onde o cultivo de feijão-caupi foi iniciado em 2006, a cultura é gerida por grandes produtores que trabalham em regime de alta tecnificação, em razão do desenvolvimento de cultivares com aspectos morfoagronômicos específicos que favorecem o cultivo mecanizado característico dessa região (Freire Filho et al., 2011), o que justifica o estado do Mato Grosso ser o maior produtor do país, segundo dados da Conab (2021).

O feijão-caupi possui importância socioeconômica, como fonte geradora de emprego e renda, e também por ser um dos principais componentes da dieta alimentar das populações das regiões norte e nordeste, e atualmente está se expandindo para a região Centro-Oeste. É reconhecido como uma das principais culturas de subsistência, por se tratar de uma cultura de grande valor alimentar e de ampla adaptação, sendo uma cultura de grande potencial estratégico (Freire Filho et al., 2005).

Observa-se nos últimos anos uma grande expansão da área cultivada para a região Centro-Oeste, onde é cultivado por médios e grandes produtores, de base empresarial, com o uso da mesma tecnologia empregada no cultivo da soja (Freire Filho et al., 2017). Na região Nordeste, a produção concentra-se nas áreas semiáridas, onde outras culturas anuais, em razão

da irregularidade das chuvas e das altas temperaturas, não se desenvolvem satisfatoriamente. Essa região se caracteriza por apresentar em sua grande maioria uma agricultura de base familiar, em que parte da produção é destinada ao consumo, e o excedente comercializado (Freire Filho et al., 2011; Santos; Lima, 2015).

Considerando as estimativas brasileiras obtidas em 2015, é evidente a importância econômica que o cultivo de feijão-caupi possui em diversas regiões do Brasil, visto que a cultura foi responsável pela geração de 961.993 empregos, com o valor de produção estimado em R\$ 643.553.333,00, tendo sido produzido como suprimento para 26.505.491 pessoas. As estimativas de produção no Mato Grosso foram de (127.000 toneladas), Ceará (107.291 toneladas), Piauí (55.278 toneladas), Pernambuco (52.406 toneladas), Maranhão (50.314 toneladas) e Bahia (20.890 toneladas) (Rocha et al., 2017).

Em Mato Grosso, a cultura tem se destacado, por atender demandas do mercado das regiões Norte e Nordeste, principais regiões consumidoras de feijão-caupi no Brasil e também tem proporcionado a entrada de divisas no país por meio de exportações. Os benefícios advindos da exportação decorrem da diversificação do mercado interno e externo, viabilizando maiores volumes de produção, incorporação de novas tecnologias produtivas e qualidade de grãos, desencadeando assim, uma demanda por cultivares que venham a atender o mercado consumidor (Freire Filho et al., 2012).

O Mato Grosso é o quarto maior produtor brasileiro de feijão, depois do Paraná, Minas Gerais e Goiás. Em uma área plantada de 156 mil hectares, o Estado cultiva as variedades carioca, caupi e preto. O setor agropecuário possui papel importante na geração de emprego e renda, o cultivo do feijão vem contribuindo com a geração de 2.371 vínculos diretos com salário mensal médio de R\$ 2.735,41, em 2020, conforme estimativa do Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (IMEA). Estima-se que a cultura foi responsável por gerar uma renda total de R\$ 84,31 milhões no mesmo ano (Beghini et al., 2021).

Beghini et al. (2021), ainda ressaltaram que, nesta estimativa consta apenas os empregos diretos gerados pelo cultivo do feijão, todavia, a cultura movimenta vários outros setores, como o de insumos, transporte rodoviário, além de incentivar a economia local onde é produzida a leguminosa, uma vez que os trabalhos diretos gerados são convertidos em renda para a população que utilizam esses valores no comércio local.

A geração de empregos também reflete diretamente no bem-estar da população dos municípios produtores de feijão. Pois quando é analisado os principais produtores de feijão no Estado do Mato Grosso, estes apresentam indicadores sociais acima da média do estado, exibindo melhores níveis de longevidade, educação e bem-estar. Além de todos os municípios

que estão entre os dez maiores produtores de feijão, registram PIB per capita superior à média do estado (R\$ 39,93 mil/hab/ano) (Beghini et al., 2021).

1.5 Estudos de base genética

A crescente demanda por alimentos, devido ao aumento populacional global, somado à limitada área de cultivo impõe uma demanda cada vez maior no melhoramento de plantas, no sentido de aumentar a produtividade de grãos. Existe a necessidade de efetuar novos estudos que auxiliem na obtenção de genótipos melhorados. O melhoramento genético é uma das ferramentas disponíveis para aprimorar as características importantes e o desenvolvimento de novas cultivares (Borém; Miranda, 2013; Wyszniński, 2010).

A escolha de genitores é uma etapa crucial, realizada com base no desempenho produtivo e outros caracteres objeto do melhoramento, levando-se também em consideração a divergência genética entre eles, avaliada previamente com base em caracteres morfoagronômicos e marcadores de DNA (Rocha et al., 2013). No entanto, o uso de poucos genitores no início dos programas de melhoramento, pode ter provocado um estreitamento da base genética de diversas culturas, dentre essas, o feijão-caupi, trazendo consigo riscos como, por exemplo, menores patamares de produtividade e maior suscetibilidade a doenças. O ganho genético, por vezes, vem acompanhado de uma perda considerável da variabilidade genética originalmente disponível, levando ao estreitamento da base genética, e essa uniformidade genética gera preocupação entre os melhoristas (Wyszniński, 2010).

O estreitamento da base genética gera, como consequência, o aumento da vulnerabilidade genética, principalmente a estresses bióticos. Nos programas de melhoramento, a principal consequência da limitação da diversidade genética é a redução da possibilidade de ganhos adicionais nos programas de seleção, uma vez que o melhorista passa a manejar um conjunto gênico de tamanho limitado (Handson, 1959; Rangel et al., 1996).

O conceito de base genética pode ser definido como todas as linhagens genéticas que contribuíram para o desenvolvimento de cultivares e a contribuição genética relativa de cada uma (Cui et al., 2000). Para quantificar a base genética, ou seja, calcular as contribuições proporcionais dos ancestrais para a base, tem-se utilizado principalmente a análise das genealogias das cultivares, através do coeficiente de parentesco de Malecót, que é a probabilidade de dois alelos, em qualquer loco, num indivíduo, serem idênticos por ancestralidade. (Zhou et al., 2000).

Vários esforços têm sido realizados no intuito de estimar a base genética das principais plantas cultivadas importantes economicamente no mundo. Dentre esses, destacam os estudos

realizados em soja por Gizlice et al. (1993), onde observaram que cerca de 75% dos genes dos cultivares modernos de soja lançados nos Estados Unidos até 1960 foram derivados de 17 linhagens. No Brasil, Hiromoto e Vello (1986), examinaram 74 cultivares de soja recomendadas para o Brasil no ano agrícola de 1983/1984 e encontraram as genealogias para 69 delas. Estes mesmos autores observaram ainda que estas cultivares eram derivadas de apenas 26 ancestrais, sendo que quatro ancestrais contribuíram com aproximadamente 50% da base genética, e 11 contribuíram com 89%.

Com base em 12 locos de marcadores microssatélites (SSR), Priolli et al. (2002) puderam distinguir 186 cultivares de soja brasileiras e encontrar o ancestral para 98% delas. Os autores concluíram que houve um limitado número de genitores nos cruzamentos. Estudando 317 cultivares brasileiras de soja liberadas entre 1962 e 1998, Bonato et al. (2006), estimaram sua similaridade genética utilizando marcadores AFLP. Estes mesmos autores encontraram uma alta similaridade genética entre as cultivares sendo que o coeficiente de similaridade médio das cultivares foi de 0,61, ou seja, estes dados também mostram que as cultivares brasileiras de soja possuem base genética estreita.

Priolli et al. (2010), com base nas informações de marcadores microssatélites (SSR) e dados de pedigree, investigou a relação genética em um grupo de 168 cultivares de soja brasileira. Destes, dezoito loci SSR produziram uma média de 5,06 alelos e uma diversidade gênica média de 0,58 para as cultivares estudadas. Sugerindo que os marcadores SSR foram altamente eficazes em distinguir o material genético com uma base genética estreita, como o germoplasma de soja brasileiro.

Em arroz, Cuevas-Pérez et al. (1992), descreveram a base genética do arroz irrigado na América Latina e no Caribe, detectando um grupo de 14 ancestrais (70% dos genes), que contribuiu para formação dos cultivares analisados. Os estudos demonstraram que no período de 1971 a 1993, um grupo de apenas 11 ancestrais acumulou 81% dos genes presentes nos cultivares. Em arroz de sequeiro, Silva et al. (1999) também verificaram uma base genética restrita para os cultivares recomendados no Brasil no ano agrícola de 1997/98.

Voysest et al. (1994) que, ao comparar a base genética entre cultivares de feijão-comum nos Andes Meso e Latino-americanos, observaram que os 130 cultivares da raça Mesoamericana apresentaram 79% de seus genes provenientes de ancestrais de sua mesma raça. Ainda, 41% da contribuição genética dos cultivares da raça Mesoamericana foram atribuídas a apenas 10 ancestrais da mesma.

Barili et al. (2016), ao estimar o progresso genético para a produtividade de grãos e outras características agrônômicas importantes em 40 cultivares de feijão preto recomendadas

entre 1960 e 2013, por meio de modelos de regressão linear bissegmentada, os quais permitiram inferir sobre o ano exato em que o melhoramento do feijão preto começou a apresentar progresso genético significativo. Para rendimento de grãos, o progresso genético foi observado a partir de 1988, com ganho anual de 2,42%. Melhorias também ocorreram na aparência do grão (1,85%), arquitetura da planta (1,35%), número de vagens por planta (2,36%) e sementes por vagem (2,24%) e peso de 1.000 sementes (1,42%), principalmente após 1989.

Rodrigues et al. (2002), estudando a divergência genética de cultivares de feijoeiro no Rio Grande do Sul, 37 locais e 14 desenvolvidas pela pesquisa, concluíram que as cultivares comerciais apresentam uma base genética estreita. As cultivares de feijão em poder dos agricultores possuem uma ampla base genética, quando comparadas com as geradas pela pesquisa. Os mesmos ainda citam, que as locais possuem características que podem ser aproveitadas no melhoramento. O mesmo resultado é demonstrado nos trabalhos de Elias et al. (2007), estudando 45 cultivares locais e comerciais de feijão preto, ao caracterizar a divergência genética baseadas em caracteres morfoagronômicos e nutricionais.

A estreita base genética utilizada em cultivares comerciais também é relatada, Bitocchi et al. (2012), ao concluir que as cultivares descendem de poucas cultivares andinas. Em outro estudo de análise molecular da domesticação paralela do feijão comum na Mesoamérica e nos Andes em 214 acessos (102 selvagens e 112 domesticados), os resultados mostram uma redução na diversidade genética de 72% em ambos os conjuntos de genes, que era três vezes maior na Mesoamérica em comparação com os Andes (Bitocchi et al., 2012).

Em feijão-caupi, merece destaque o estudo realizado por Montalván et al. (2006), que avaliaram a base genética das cultivares brasileiras, mediante estudo das genealogias de 41 cultivares recomendadas entre 1969 e 2005. O estudo indicou que todo o germoplasma provém de 35 ancestrais. Destes, apenas sete ancestrais contribuíram com 51% dos genes do germoplasma em uso. Um grupo de 17 ancestrais acumulou aproximadamente 81% dos genes em uso, revelando que a base genética do feijão-caupi brasileiro, apesar de estreita, é mais ampla que a do arroz. O estudo apontou que entre os mais importantes ancestrais do feijão-caupi no Brasil, nove têm origem na Nigéria, seis no Brasil, um na Costa Rica e um nos Estados Unidos.

1.6 Melhoramento genético de feijão-caupi no Brasil

A partir da introdução das cultivares de feijão-caupi no Brasil, iniciado na segunda metade do século XVI, quando os agricultores da época começaram a escolher as que mais lhes agradavam para plantio e consumo. Porém, as pesquisas com a cultura só se iniciaram em 1903,

e foram estudos de aspectos gerais da cultura como composição química e valor nutritivo, no livro “Os feijões de macassar”, de autoria de Gustavo D’Utra (Freire Filho et al., 2011).

O melhoramento genético de feijão-caupi, propriamente dito, começou em 1925 quando Henrique Lôbbe pesquisador da época, publicou um trabalho no qual avaliou 12 cultivares de *V. unguiculata*. Esse trabalho foi o ponto de partida para o melhoramento da cultura, mas só ganhou maiores dimensões no fim dos anos cinquenta e início da década de sessenta (Paiva et al., 2014).

Programa de Melhoramento Genético do feijão-caupi, iniciou na Embrapa Arroz e Feijão na década de 1970. Posteriormente, na década de 1990, o programa foi transferido para a Embrapa Meio-Norte, e se estendeu até os dias atuais, em parceria com outras unidades da Embrapa e instituições de pesquisa (Freire Filho et al., 2005).

Atualmente, algumas empresas vêm trabalhando com diversos parceiros objetivando disponibilizar cultivares de feijão-caupi mais produtivas e tolerantes aos estresses bióticos e abióticos. O líder de parcerias em pesquisa é o International Institute of Tropical Agriculture (IITA), entretanto, outros programas de melhoramento desenvolvidos em parceria com a Universidade da Califórnia têm-se fortalecido e expandido (Silva, 2018). Algumas pesquisas significativas sob vários aspectos do melhoramento de feijão-caupi também são realizadas na Burkina Faso, Índia, Mali, Nigéria e Senegal, entre outros países (Nunes, 2012).

A prioridade no programa de melhoramento do feijão-caupi no Brasil é reunir todas as instituições de pesquisa e demais organizações privadas ou públicas que tenham interesse na cultura, e buscar alcançar todos os polos de produção nos Estados do Norte, Nordeste e demais regiões (Freire Filho et al., 2011). Compõe essa rede 15 unidades da Embrapa, 16 universidades, 4 empresas estaduais de pesquisa, um centro tecnológico de ensino, empresas de sementes e agricultores (Rocha et al., 2013).

Em decorrência da demanda de cultivares adaptadas as condições ambientais e ao sistema de produção, é possível que o feijão-caupi tenha recebido bastante atenção por parte dos programas de melhoramento, devido a sua produção ser concentrada em áreas com alto índice de incidência de secas, com a produtividade associada à adaptabilidade e à estabilidade de rendimento (Freire Filho et al., 1999). A tendência atual é o incremento do uso de alta tecnologia na cultura. Diante disso, o melhoramento genético tem assumido papel de destaque, ao selecionar genótipos altamente produtivos e adaptados às condições edafoclimáticas, através de ensaios de valor de cultivo e uso (Santos et al., 2014; Torres et al., 2015).

A promoção do melhoramento genético é feita a partir da identificação de genótipos que se quer melhorar, nos quais se avaliam o desempenho em cruzamentos e,

consequentemente, a capacidade de transmissão das suas características superiores (Cakmak, 2008; Barros, 2019). Visando adaptar o cultivo do feijão-caupi tanto às grandes lavouras, que dispõem de alto grau de tecnificação, mas também melhorar o cultivo onde a produtividade é muito pequena, e feita por pequenos agricultores familiares.

Os objetivos do melhoramento genético de feijão-caupi a curto prazo são: desenvolver cultivares de porte semiprostrado, com arquitetura moderna e adequadas à agricultura familiar; desenvolver cultivares de portes ereto e semiereto com arquitetura moderna, adequadas ao cultivo totalmente mecanizado para a agricultura empresarial; aumentar a produtividade, a adaptabilidade e a estabilidade da produção; aumentar a resistência a pragas e doenças; aumentar a tolerância a altas temperaturas e estresse hídrico; aumentar os teores de proteína, ferro, zinco e fibra alimentar digestível dos grãos; melhorar a qualidade visual e culinária dos grãos; e desenvolver cultivares adaptadas a todas as regiões do país (Freire Filho et al., 2011).

Em médio prazo, o programa se propõe aumentar o potencial simbiótico da espécie, desenvolver cultivares próprias ao processamento, superprecoces, com características visuais que atendam às exigências do mercado exterior. Finalmente, em longo prazo, desenvolver cultivares com altos teores de proteína, ferro e zinco, além de difundir as cultivares no exterior (Freire Filho et al., 2011).

Segundo Barroso Neto et al. (2017), alguns avanços no cultivo do feijão-caupi foram obtidos, tais como o desenvolvimento de cultivares mais precoces e uniformes, resistência e tolerância a estresses bióticos e abióticos, hábito semiereto com inserção de vagens acima da folhagem e uniformidade de maturação das vagens, maior estabilidade e adaptabilidade, entre outros.

Até o ano de 2010, foram lançadas 71 cultivares de feijão-caupi melhoradas geneticamente, número que se for comparado a cultivares de outras culturas anuais cultivadas no país, é bastante pequeno. Destas, 53 cultivares estão registradas e inscritas no Registro Nacional de Cultivares (RNC) no portal do MAPA (CultivarWeb 2022). Estas cultivares registradas dispõem de variabilidade genética, como, por exemplo, diferentes portes e cores de tegumento e são recomendadas para diferentes regiões do Brasil.

Considerando a pequena oferta de cultivares e que muitas já deixaram de ser cultivadas, as cultivares melhoradas ocupam uma pequena parte da área plantada com feijão-caupi no Brasil. E apesar dos avanços na produção, ainda são necessários maiores investimentos em pesquisas e em trabalhos de melhoramento, que permitam o aprimoramento da cultura (Freire Filho et al. 2011).

1.7 Estratégias para ampliação da base genética

Um componente do melhoramento de que o pesquisador não pode descuidar-se é a base genética das linhagens que estão sendo manejadas pelo seu programa. Um número aparentemente amplo de linhagens pode representar um tamanho efetivo populacional restrito, quando estas linhagens são muito aparentadas (Morais, 1997). Além da semelhança genética entre cultivares de qualquer cultura ser um fator de risco em relação aos estresses bióticos, principalmente doenças (Breseghello et al., 1999).

O feijão-caupi apresenta alta variabilidade genética, que se encontra presente nos diferentes genótipos cultivados no Brasil (Correa et al., 2012; 2015), e mesmo sendo uma espécie exótica, possíveis segregações e mutações ocorreram nesses mais de 460 anos de cultivo no país (Freire Filho et al., 2011). As cultivares locais apresentam um grande número de variedades, raças locais, crioulas, e ainda são muito cultivadas, principalmente por pequenos agricultores. Esse germoplasma tem uma variabilidade genética imensurável, a qual pode ser observada a partir dos diferentes tipos de grãos que são encontrados nas feiras livres e nos mercados das médias e grandes cidades.

No Brasil, devido à grande importância que esta cultura possui, estudos precisam ser realizados para avaliar a divergência genética, visando a seleção de genótipos mais divergentes, mais adaptados e com maior potencial de produção (Torres Filho et al., 2018). Pesquisas voltadas a avaliação da diversidade genética das populações permitem o conhecimento das melhores combinações híbridas com maior efeito heterótico e heterozigose (Passos et al., 2007).

De acordo com Barbieri et al. (2005), quanto maior for a divergência entre os pais, maior será a variabilidade resultante na população segregada e maior será a probabilidade de reagrupar alelos em novas combinações favoráveis. Allard (1960) afirma que a melhor maneira de obter genótipos superiores é usar pais com ampla diversidade genética para características de interesse agrícola.

O melhoramento do feijão-caupi inicialmente foi voltado, para o aumento da produtividade; para a resistência a doenças, principalmente às viroses, e atualmente, também tem-se dado uma grande ênfase à qualidade de grão e à arquitetura da planta. Outros aspectos relacionados a essa questão são os fatores bióticos e abióticos, assim como as exigências dos produtores, comerciantes e consumidores. Além disso, a busca do aperfeiçoamento da exploração e da melhoria da produtividade e da qualidade exigem um trabalho permanente de criação e seleção de novas cultivares (Freire Filho et al., 2005).

Para Vieira et al. (2001) em um estudo com cultivares de feijão do grupo carioca, o número de cultivares de feijão atualmente recomendadas no Brasil apresentam uma base genética muito estreita. Essa variabilidade genética restrita é comum entre variedades comerciais, devido as exigências impostas por produtores e consumidores, o que pode gerar um gargalo na variabilidade genética dessa cultura. Devido a essa estreita base genética em países com elevada participação na produção mundial, como o Brasil, é preciso estimar como se encontra a base genética do feijão-caupi no brasileiro, identificando quais genótipos (ancestrais) foram utilizados na produção de cultivares em diversas regiões do país.

Vale ressaltar que não foram encontrados estudos relacionados à genealogia de genes nucleares e citoplasmáticos de cultivares de feijão-caupi.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estimar a base genética dos cultivares de feijão-caupi lançados no Brasil entre 1960 e 2020 e fornecer subsídios para a escolha de genitores em futuros cruzamentos conduzidos nos programas de melhoramento genético da cultura.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar todos os cultivares de feijão-caupi recomendados e lançados no Brasil entre os anos de 1960 e 2020;
- Identificar os genitores e os ancestrais de cada cultivar através de informações dos cruzamentos conduzidos pelos diversos programas de melhoramento genético desta cultura;
- Reunir as genealogias dos cultivares de feijão-caupi;
- Estimar a contribuição genética relativa e acumulada dos genes nucleares dos cultivares de feijão-caupi;
- Identificar a origem dos genes citoplasmáticos dos cultivares de feijão-caupi.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, RW. **Princípios de melhoramento de plantas**. Nova York: John Wiley e Sons, 1960. 458 p.
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F. Estimativa de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/vXjm7FjP7Tg9MVr6StDtTbb/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- ARAÚJO, F. M. M. C. de. **Caracterização bioquímica de sementes de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 1997. 84 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1997.
- BARBIERI, R. L.; LEITE, D. L.; CHOER, E.; SINIGAGLIA, C. Divergência genética entre populações de cebola com base em marcadores morfológicos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria v. 35, n. 02, p. 303-308, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/h5Z3C7Xg9LbpjxVqLBBxdH/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- BARILI, L. D.; VALE, N. M. D.; CARNEIRO, J. E. D. S.; SILVA, F. F.; SILVA, F. L. D. Five decades of black common bean genetic breeding in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 3. p. 259-266, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pat/a/k7njYXRZLvqSdjwc9BNBshq/abstract/?lang=en>>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- BARROS, E. K. do C. **Caracterização e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi com base nos teores de proteínas, ferro e zinco e na qualidade de cocção**. 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.
- BARROSO NETO, A. M.; DE MATOS, R. F.; DE SOUSA PINHEIRO, M.; DE MAGALHÃES BERTINI, C. H. C.; DOVALE, J. C. Variabilidade genética e seleção de progênies de feijão-caupi extraprecoces. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 698-707, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/6388>>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- BASTOS E. A. **Clima**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/caracteristicas-e-relacoes-com-o-ambiente/clima>>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- BEGHINI, V. H. C.; KEMPA, M. M.; HARRIS, V. M. G (org). **Importância da produção de feijão em Mato Grosso**. Cuiabá, MT. 1 ed. Imea, 2021. 74 p.
- BITOCCHIA, E.; NANNIA, L.; BELLUCCIA, E.; ROSSIA, M.; GIARDINIA, A.; ZEULIB, P. S.; LOGOZZO, G.; STOUGAARD, J.; MCCLEAN, P.; ATTENE, G.; PAPA, R. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. **PNAS Early Edition**, Washington, v.109, n.14, p.788-796, 2012. Disponível em: <<https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1108973109>> Acesso em: 12 Jul. 2022.
- BONATO, A. L. V.; CALVO, E. S.; GERALDI, I. O.; ARIAS, C. A. A. Genetic similarity among soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars released in Brazil using AFLP markers. **Genetics and Molecular Biology**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 692-704, 2006. Disponível em: <

<https://www.scielo.br/j/gmb/a/FLxgGfnMPQMXXFKRGdKmt3tv/?lang=en> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 6.^a ed. Viçosa, UFV, 2013. 523p.

BOUKAR, O.; FATOKUN, C. A.; HUYNH, BAO-LAM, ROBERTS, P. A.; CLOSE, T. J. Genomic tools in cowpea breeding programs: status and perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 757, p. 1-13, 2016. Disponível em: < <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00757/full> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

BOUKAR, O.; MASSAWE, F.; MURANAKA, S.; FRANCO, J.; MAZIYA-DIXON, B.; SINGH, B.; FATOKUN, C. Evaluation of cowpea germplasm lines for protein and mineral concentrations in grains. **Plant Genetic Resources**, Cambridge, v.9, n.4, p.515-522, 2011. Disponível em: < <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/0F959F3C28CCAA3166AEFBA2F057FD7F/S1479262111000815a.pdf/evaluation-of-cowpea-germplasm-lines-for-protein-and-mineral-concentrations-in-grains.pdf> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P. H. N.; MORAIS, O. P. de. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Goiânia, v. 34, p. 399-407, 1999. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/pab/a/XCtsGpQ7JqcWd77LKwNbV9F/?lang=pt&format=html> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant soil**, v. 302, p. 1-17, 2008. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-007-9466-3#citeas> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, quinto levantamento, fevereiro 2020**. Brasília: CONAB, 2020. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 27 nov. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.9 – safra 2021/22, nº6 – Sexto levantamento | março 2022**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 01 abr. 2022.

CORREA, A. M.; BRAGA, D. C.; CECCON, G.; DE OLIVEIRA, L. V. A.; DE SOUZA LIMA, A. R.; TEODORO, P. E. Variabilidade genética e correlações entre caracteres de feijão-caupi. **Revista Agro@mbiente On-line**, v 9, p 42-47. 2015.

CORREA, A. M.; CECCON, G.; CORREA, C. M. A.; DELBEN, D. S. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.1, p. 88-94, 2012. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rceres/a/H6GMgK66bbMQRB5GmW7tKhJ/?lang=pt> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

CUEVAS-PÉREZ, F. E; GUIMARÃES, EP; BERRIO, L. E; GOZÁLES, D. I. Genetic base of irrigated rice in Latin America and the Caribbean, 1971 to 1989. **Crop Science**, Estados Unidos, v. 32, p. 1054-1059, 1992. Disponível em: < <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1992.0011183X003200040044x> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

CUI, Z.; CARTER, T. E Jr.; BURTON, J. W. Base genética de 651 cultivares de soja chinesas lançadas durante 1923 a 1995. **Crop Science**, Estados Unidos, v. 40, p. 1470-1481, 2000.

CULTIVARWEB. **Registro Nacional de Cultivares, Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento**. Cultivares registradas. Disponível

<https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php> em: Acesso em: 12 abr. 2022.

DIAS, C. de C. PAIUHY: das origens a nova capital. Teresina **Nova Expansão Gráfica e Editora Ltda**, p. 324-333. 2008.

DO VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Botânica e Fenologia**. Feijão caupi: do plantio a colheita. Viçosa: UFV, 2017. p. 35-51.

ELIAS, H. T.; VIDIGAL, M. C. G.; GONELA, A.; VOGT, G. A. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2007, v. 42, n. 10. p. 1443-1449. Disponível em: <

<https://www.scielo.br/j/pab/a/tpbZpZfrVW355xj8PtqBkbG/?lang=pt> > Acesso em: 24 de nov. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2018. **FAOStat, World Production**. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: 27 novembro. 2021.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, JPP; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília: Embrapa meio-norte. 1988. p. 26-46.

FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. G. Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 18, n. 12, p. 13-69-1372, 1983.

Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/51622> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

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, 519 p. 2005.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; DOS SANTOS, A. A. Cultivares de caupi para a região Meio-Norte do Brasil. **Embrapa Meio-Norte Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, p. 67-88. 2000. Disponível em: <

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1111814> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. D. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 84 p. 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. Production, breeding and potencial of cowpea crop in Brazil. Teresina: **Embrapa Mid-North**, p 49. 2012. Disponível em: <

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/953612> > Acesso em: 12 Jul. 2022.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, J. E. L. F.; VIEIRA, P. F. de M. J. A cultura: Aspectos socioeconômicos. In: VALE, J. C do; BERTINI, C.; BORÉM, A. (ed.) **Feijão-Caupi do plantio à colheita**. v 1. Viçosa: Editora UFV, 2017. Cap. 1, p.9-34.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, C. A. F. Melhoramento genético de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) na região do Nordeste. 1999.

GANDAVO, P. de M. **Tratado da terra do Brasil. Tratado Segundo: das coisas são gerais por toda costa do Brasil.** Capítulo Quarto. Dos mantimentos da terra. [Brasília]: Senado Federal, Conselho Editorial, 2008. Disponível em:

<<http://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/188899>> Acessado em: 27 nov. 2021.

GIZLICE, Z.; CARTER, T. E.; BURTON, J. W. Genetic diversity in North American soybean: I. multivariate analysis of founding stock and relation to coefficient of parentage. Estados Unidos, **Crop Science**, v. 33, n. 3, p. 614-620, 1993.

HANSON, W. D. Theoretical distribution of the initial linkage block lengths intact in the gametes of a population intermated for generations. **Genetics**. Bethesda. v.44, p.839-846, 1959. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1209986/>> Acesso em: 12 Jul. 2022.

HIROMOTO, D.M.; VELLO, N.A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. **Revista Brasileira de Genética**, v. 9, n. 2, p.295-306, 1986.

MACHADO, C. D. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; COSTA, D. S. S.; AMORIM, A. F. D. Herança da inflorescência composta da cultivar de feijão-caupi Cacheado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1347-1350. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/tKc4VvB8bhTVbkMJ55XrBrs/?lang=pt&format=html#>> Acesso em: 12 Jul. 2022.

MARÉCHAL, R.; MASCHERPA, J. M.; STAINIER, F. Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres Phaseolus et Vigna (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera**, Geneve, v. 28, p. 1-273, 1978.

MATOS FILHO C. H. A.; GOMES R. L. F.; ROCHA M. M.; FREIRE FILHO F. R.; LOPES Â. C. de A. Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 348-354, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/6VcynQDRbnQVDbvQTSd4syJ/?lang=pt>> Acesso em: 24 nov. 2022.

MENDONÇA, C.; NETO, A. B.; BERTINI, C.; AMORIM, M.; ARAÚJO, L. B. Caracterização fenológica associada a graus-dia em genótipo de feijão-caupi para produção de grãos verdes. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11. n. 21, p. 485, 493, jun. 2015. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/Caracterizacao%20fenologica.pdf>> Acesso em: 24 nov. 2022.

MENEZES JÚNIOR, J. A.; ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; DO VALE, J. C.; BERTINI, C. H. C. M. Colheita. In: DO VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio a colheita**. Viçosa: UFV, 2017. p. 244-267.

MIRANDA, R. D. S.; SUDÉRIO, F. B.; SOUSA, A. F.; GOMES FILHO, E. Deficiência nutricional em plântulas de feijão-de-corda decorrente da omissão de macro e micronutrientes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.3, p. 326-333, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/pFYLvzb5Lkd8wMWgHLqKCyn/?lang=pt>> Acesso em: 28 nov. 2022.

MONTALVÁN, R.; MAIA, J.; MACIEL, S.; RAMOS, S.; FREIRE FILHO, F. R. Base genética das cultivares brasileiras de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE

FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6, 2006, Teresina.
Tecnologias para o agronegócio: anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.

MORAIS, O.P. Tamaño efectivo de la población. In: GUIMARÃES, E.P. (Ed.). Selección recurrente en arroz. Cali: CIAT, 1997. p.25-44. (Publicación CIAT, n.267). **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.399-407, 1999.

NASCIMENTO, H. T. S. do. Apresentação. In: FREIRE FILHO, F. R et al. **Coleção ativa de germoplasma de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e de outras espécies do gênero *vigna*, da EMBRAPA Meio-Norte, no período de 1976 a 2003.** Teresina: Embrapa, p. 8-8. 2011. Disponível <
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/959125/1/DOC209.pdf>>
Acesso em: 28 nov. 2022.

NUNES, H. F. **Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi do tipo fradinho em cultivos de sequeiro e irrigado.** 2012. 106 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Piauí, 2012.

PADULOSI, S.; N. G, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research.** Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p. 1-12.

PAIVA, J. B.; FREIRE FILHO, F. R.; TEÓFILO, E. M.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: Melhoramento genético no centro ciências agrárias.** Fortaleza: Edições UFC. 2014. 261p.
VALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. Feijão-caupi do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV. 2017. 267p.

PASQUET, R. S. Morphological study of cultivated cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Importance of ovule number and definition of cv. gr *Melanophthalmus*. **Agronomie: Sciences des Productions Vegetales et de l' Environnement.** Paris, v. 18, p. 61-70, 1998. Disponível <
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885870/document>> Acesso em: 24 nov. 2022.

PASSOS, A. R.; SILVA, S. A.; CRUZ, P. J.; ROCHA, M. D. M.; CRUZ, E. M. D. O.; ROCHA, M. A. C. D.; BAHIA, H. F. Divergência genética em feijão-caupi. **Revista Bragantia**, v. 66, n. 04, p. 579-586, 2007. Disponível <
<https://www.scielo.br/j/brag/a/7wmywdRYxJ6Q37MfdfWy5Cw/?format=html&lang=pt#>>
Acesso em: 25 nov. 2022.

PHILLIPS, E. P. The genera of South African flowering plants. **Pretoria: Government Printer**, p. 702, 1951.

PRIOLLI, R. H. G.; MENDES JUNIOR, C. T.; ARANTES, N. E.; CONTEL, E. P. B. Characterization of brazilian soybean cultivars using microsatellite markers. **Genetics and Molecular Biology.** Ribeirão Preto, v. 25, n. 2, p. 185-193, 2002. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/gmb/a/jnMK35xsTbVgBWSgL6Bq34t/?lang=en>> Acesso em: 28 nov. 2022.

PRIOLLI, R. H. G.; PINHEIRO, J. B.; ZUCCHI, M. I.; BAJAY, M. M.; VELLO, N. A. Genetic diversity among Brazilian soybean cultivars base don SSR loci and pedigree data. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 53, n. 3, p. 519- 531, 2010. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/babt/a/hCYzbH6pNNHYHYnx4BMfcrk/?lang=en>>
Acesso em: 28 nov. 2022.

RANGEL, P. H. N.; GUIMARÃES, E. P.; NEVES, P. C. F. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 5, p. 349-357, 1996. Disponível em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/19291/1/pab96_06_maio.pdf > Acesso em: 28 nov. 2022.

ROCHA, M. D. M.; SILVA, K.J. D.; FREIRE-FILHO, F. R.; MENEZES Jr. J. A. N.; RIBEIRO, V. Q. Melhoramento genético do feijão-caupi no Brasil. In *Embrapa Meio-Norte- Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: **JORNADA TECNOLÓGICA INTERNACIONAL SOBRE EL FRIJOL CAUPÍ**, 1., 2013, Monteria. Colômbia: Universidade de Córdoba, 2013.

ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; JUNIOR, J. A. N. de M. **Sistemas de produção EMBRAPA. Cultivo de feijão-caupi**, 2ª Ed. 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161165/1/SistemaProducaoCaupiCapituloCultivares.pdf>> Acesso em: 09 nov. de 2020.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; MENEZES-JÚNIOR, J. Â. N.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F.; LIMA, J. M. P.; SANTOS, J. F.; BERTINI, C. H. C. M.; PASSOS, A. R.; MORAIS, O. M. Yield adaptability and stability of semi-prostrate cowpea genotypes in the Northeast region of Brazil by REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômica**, v.5 especial, 879-888, 2017.

RODRIGUES, L. S.; ANTUNES, I. F.; TEIXEIRA, M. G.; SILVA, J. B. D. Divergência genética entre cultivares locais e cultivares melhoradas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, n. 9, p. 1275-1284, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900011>> Acesso em: 14 jun. 2020.

SANTOS, D. P.; LIMA, L. K. S. Avaliação agronômica de variedades de feijão-caupi em cultivo de sequeiro no município de Coremas-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, n.1, p. 218-222, 2015. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7300941> > Acesso em: 28 jun. 2022.

SANTOS, J. A. D. S.; TEODORO, P. E.; CORREA, A. M.; SOARES, C. M. G.; RIBEIRO, L. P.; ABREU, H. K. A. D. Desempenho agronômico e divergência genética entre genótipos de feijão caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, p. 377-382, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/9cF6wJNQcv5b8QmjbrbSwGm/?format=html&lang=pt#> > Acesso em: 12 jun. 2022.

SELLSCHOP, J. P. F. Cowpeas: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Field Crop Abstracts, **Slough**, v. 15, n. 4, p. 259-266, Oct./Dec. 1962.

SILVA, D. O. M. **Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para produção de grãos, teores de proteínas e minerais em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) no semiárido brasileiro**. 2018. 190 p. Tese (Doutorado Acadêmico em Recursos Genéticos Vegetais) UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia. 2018.

SILVA, E. F.; MONTALVÁN, R.; ANDO, A. Genealogia dos cultivares brasileiros de arroz-de-sequeiro. **Bragantia**, Campinas, v 58: 281-286p. 1999. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/KmvSwMyPMtf6rFy4mgkX4Xs/?lang=pt#> > Acesso em: 14 nov. 2022.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA,

P. M. (Eds.). **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA, Nigéria, p. 22-40. 2002.

SMARTT, J. **Grain legumes: evolution and genetic resources**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 333, 1990.

SOUZA, G. de. Em que se apontam os legumes que se dão na Bahia. In: SOUZA, G. de. Notícias do Brasil. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, p. 94-95, 1974.

STEELE, W.M.; MEHRA, K.L. Structure, evolution, and adaptation to farming systems and environments in Vigna. Structure, evolution, and adaptation to farming systems and environments in Vigna., **Advances in legume science**. p. 393-404, 1980.

TIMKO, M. P.; EHLERS, J. D.; ROBERTS, P. A. Cowpea. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, **BMC Genomics**, 2007. p.49-67.

TORRES FILHO, J.; OLIVEIRA, C. N. G. D. S.; SILVEIRA, L.; NUNES, G. H. D. S.; Pereira, C. C. A.; SILVA, A. E. A. D. Divergência genética entre genótipos de feijão-caupi com base em caracteres associados com o mercado de vagens e grãos verdes. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 56-63. 2018.

TORRES, F. E.; TEODORO, P. E.; SAGRILO, E.; CECCON, G.; CORREA, A. M. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 3, p. 255-260, 2015. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/brag/a/V4TqNZh7dQrXbtV4qfYBwfr/?format=html&lang=pt#>>
Acesso em: 17 nov. 2022.

VERDCOURT, B. Studies in the leguminosae: papilionoideae for the 'Flora of tropical East Africa'. **Kew Bulletin**, London, v. 24, p. 507-569, 1970.

VIEIRA, E. S. N.; VON PINHO, E. V. R.; VIEIRA, M.; MANN, R. Similaridade genética entre cultivares de feijão do grupo carioca por meio de marcadores moleculares de proteínas e enzimas visando a certificação da pureza genética. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, n. 2, p.35-42, 2001.

VOYSEST, O.; VALENCIA, M. C.; AMEZQUITA, M. C. Genetic diversity among Latin American Andean and Mesoamerican common bean cultivars. **Crop Science**, v 34, p. 1100-1110, 1996.

WANG, G.; MCGIFFEN, M. E.; EHLERS, J. D.; MARCHI. Competitive ability of cowpea genotypes with different growth habit. **Weed Science**, v 5, p. 775-778, 2017.

WYSMIERSKI, P. T. **Contribuição genética dos ancestrais da soja às cultivares brasileiras**. 2010. 99 f. (Dissertação de Mestrado), Piracicaba. Universidade de São Paulo, 2010.

ZHOU, X.; CARTER, T. E.; CUI, Z.; MIYAZAKI, S.; BURTON, J. W. Genetic base of Japanese soybean cultivars released during 1950 to 1988. **Crop Science**, Estados Unidos, v. 40, n. 6, p. 1794-1802, 2000.

CAPÍTULO 2 – Genealogia e base genética dos cultivares brasileiros de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

RESUMO

A ampliação das áreas de produção e do mercado consumidor do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) têm propiciado novas demandas aos objetivos do melhoramento genético da cultura. Neste contexto, o conhecimento do status da base genética desta cultura é de fundamental importância para o manejo e conservação desse recurso genético. O objetivo deste trabalho é estimar a base genética dos cultivares de feijão-caupi recomendados e lançados no Brasil entre os anos de 1960 e 2020, identificar os ancestrais de cada cultivar, bem como identificar a origem de seus genes citoplasmáticos. Para obtenção dessas informações foram elaborados os pedigrees dos cultivares. Foram encontrados 45 cultivares de feijão-caupi provenientes do cruzamento entre 81 genótipos. Em relação à contribuição genética relativa dos ancestrais, observou-se que Pitiúba tem contribuído com 3,01% para a formação dos cultivares, em seguida aparecem Seridó e CNC 0434 cada um contribuindo com 2,81% e 2,78% respectivamente. Em seguida, observa-se Guariba, Vita 3 e Sempre Verde contribuindo com 2,11% cada, e Tvu 410 apresentando uma contribuição de 2,06%. Estes contribuem juntos com 16,98% do conjunto gênico total dos cultivares. Ainda merecem destaque 19 ancestrais que participaram com 37% da base genética dos 45 cultivares. Quanto a origem dos genes citoplasmáticos temos que dos 81 ancestrais utilizados nos cruzamentos dos cultivares, 38 foram utilizados como genitores femininos. Sendo os ancestrais Pitiúba, CNC 0434, Seridó, IT85F-2687 e BR10 Piauí, as fontes ancestrais citoplasmáticas mais significativas. Baseados nos dados obtidos, temos que a base genética do feijão-caupi é relativamente estreita.

Palavras-chave: Espécies leguminosas; Genótipos; Pedigrees; Cruzamentos; Genes Citoplasmáticos.

ABSTRACT

The expansion of production areas and consumer market of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) has led to new demands on the objectives of genetic improvement of the crop. In this context, the knowledge of the status of the genetic base of this crop is of fundamental importance for the management and conservation of this genetic resource. The objective of this work is to estimate the genetic base of the cowpea cultivars recommended and released in Brazil between the years 1960 and 2020, to identify the ancestors of each cultivar, as well as to identify the origin of their cytoplasmic genes. To obtain this information, the pedigrees of the cultivars were elaborated. Forty-five cowpea cultivars were found to come from the crossing between 81 genotypes. Regarding the relative genetic contribution of the ancestors, it was observed that Pitiúba has contributed with 3.01% for the formation of cultivars, followed by Seridó and CNC 0434 each contributing with 2.81% and 2.78%, respectively. Next are Guariba, Vita 3 and Sempre Verde contributing 2.11% each, and Tvu 410 contributing 2.06%. Together, these contribute 16.98% of the total gene pool of the cultivars. Still worth mentioning are 19 ancestors that participated with 37% of the genetic base of the 45 cultivars. Regarding the origin of the cytoplasmic genes, of the 81 ancestors used in the crossings of cultivars, 38 were used as female genitors. Being the ancestors Pitiúba, CNC 0434, Seridó, IT85F-2687 and BR10 Piauí, the most significant cytoplasmic ancestral sources. Based on the data obtained, we have that the genetic base of the cowpea bean is relatively narrow.

Keywords: Leguminous species; Genotypes; Pedigrees; Crosses; Cytoplasmic genes.

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp, conhecida popularmente como feijão-caupi, dentre várias outras denominações, é uma leguminosa pertencente ao grupo das Dicotyledoneas, ordem Fabales e família Fabaceae (Freire Filho et al., 2005; Wang et al., 2017). Possui grande importância alimentar por ser nutricionalmente rica em proteínas, minerais e fibras, além de ser geradora de emprego e renda (Singh, 2007; Frota et al., 2008). É cultivada principalmente na África, sudeste da Ásia, sul dos Estados Unidos e América Latina (Aliyu et al., 2019), tratando-se de uma cultura com relevante importância agrônômica, econômica e alimentar, principalmente para a população mais carente (Freire Filho et al., 1983; Gondwe et al., 2019).

O feijão-caupi apresenta grande variação quanto a sua morfologia, hábito de crescimento, características adaptativas, tipos e qualidade de sementes, além de padrões de uso bastante diversificados (Singh, 2011). Apresenta uma baixa exigência nutricional e precocidade e características mais rústicas, especialmente em relação à demanda hídrica e, assim, tolera condições de menor disponibilidade hídrica e maiores temperaturas. Sua alta variabilidade genética torna a planta altamente adaptada a diferentes regiões, ocorrendo maior representatividade na Região Nordeste e em áreas com características mais áridas no Centro-Oeste e no Sudeste (em Mato Grosso e Minas Gerais, respectivamente) (Freire Filho, 2017).

Segundo registros da FAO, a produção em 2019 ao redor do mundo foi estimada em aproximadamente 7,23 milhões de toneladas, com produtividade de 578,84 kg/ha em uma área plantada de 12,5 milhões de hectares. Os três maiores produtores são Nigéria (2,6 milhões de toneladas), Níger (1,0 milhão de toneladas) e Burkina Faso (414,7 mil toneladas). Esses valores, no entanto, são subestimados, visto que países como o Brasil e a Índia não fazem separação da produção de feijão comum e o feijão-caupi em âmbito mundial (FAO 2019; Silva, 2021).

Neste mesmo período, a produção de feijão-caupi se concentrou na região Nordeste com 352,6 mil toneladas, o que representa 56,5% da produção do país. Entre os estados nordestinos, o Ceará merece destaque por apresentar a maior área plantada (386,2 mil hectares) e a segunda maior produção (110,8 mil toneladas), perdendo apenas para o Mato Grosso (156,3 mil toneladas), no Centro-oeste (Conab, 2022).

Entretanto, alguns estados apresentam maiores produtividades, Alagoas (609 kg/ha), Maranhão (559 kg/ha) e Bahia (424 kg/ha). Alcançando destaque devido sua produtividade, o Maranhão na safra de 20/21 produziu 26,9 mil toneladas em uma área correspondente a 48 ha, desta forma o feijão-caupi tem conquistado espaço nas lavouras maranhenses (Conab, 2022).

É importante ressaltar que a região Nordeste se destaca pela alta produção, porém apresenta baixa produtividade. A utilização de baixo nível tecnológico, a irregularidade das chuvas e o emprego de cultivares pouco adaptadas às condições de cultivo, estão entre os principais fatores que provocam o baixo rendimento (Matos Filho et al., 2009). No entanto, isso não reflete o potencial genético das cultivares melhoradas, e sim devido a maior parte do cultivo do feijão-caupi ser realizado por pequenos produtores que ainda fazem uso de técnicas tradicionais de cultivo (Silva, 2018).

Vale ressaltar que a cultura atualmente está conquistando espaço na região Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Na região Centro-Oeste, onde o cultivo de feijão-caupi foi iniciado em 2006, a cultura é gerida por grandes produtores que trabalham em regime de alta tecnificação, em razão do desenvolvimento de cultivares com aspectos morfoagronômicos específicos que favorecem o cultivo mecanizado característico dessa região (Freire Filho et al., 2011), o que justifica o estado do Mato Grosso ser o maior produtor do país, segundo dados da Conab (2021).

Ao longo dos anos, o Brasil, através dos programas de melhoramento, lançou e continua desenvolvendo diversas variedades do feijão-caupi, adaptadas as mais diferentes condições edafoclimáticas e resistentes as principais pragas e doenças. Há um amplo desejo pela incorporação de genes que elevem os aspectos produtivos, tolerância a seca, melhoraria na arquitetura e resistência ao ataque de pragas, e que atendam as demandas da cadeia produtiva brasileira (Freire Filho, 1988). Para isso, existe a necessidade de efetuar novos estudos que auxiliem na obtenção de genótipos melhorados, e para o desenvolvimento de novas cultivares, a escolha dos progenitores é uma etapa crucial (Borém; Miranda, 2013).

A diversidade genética é fundamental para o progresso do melhoramento de plantas, para manter ganhos genéticos sustentáveis e evitar os riscos da vulnerabilidade genética originada pelo uso intensivo de materiais genéticos aparentados. Todavia, os estudos de diversidade das espécies cultivadas têm revelado uma base genética estreita, devido ao uso de poucos genitores no início dos programas de melhoramento (Montalván et al., 2006), o que propicia maior vulnerabilidade das culturas à novas pragas e patógenos. Essa uniformidade genética preocupa os melhoristas, haja visto que ganhos genéticos vêm acompanhados de uma perda considerável da variabilidade genética original (Wysmierski, 2010).

Para que a base genética do feijão-caupi possa ser ampliada, é de fundamental importância o conhecimento da genealogia dos genótipos a serem utilizados no desenvolvimento de novas cultivares para evitar ou diminuir os cruzamentos entre genitores geneticamente próximos e pertencentes ao mesmo grupo gênico (Cardoso, 2009).

Entretanto, a falta de informações sobre essas genealogias é um dos fatores que dificultam a escolha de genitores a serem utilizados nos programas de melhoramento (Silva et al., 1999), assim como a escassez de informações relacionadas à origem dos genes citoplasmáticos encontrados nas mitocôndrias e plastídios (Silva et al., 2002).

Ao que se refere à origem dos genes citoplasmáticos de culturas economicamente importantes, poucos estudos têm sido realizados, com destaque apenas para o trabalho de Silva et al. (2002), que observou um total de 16 ancestrais responsáveis pelos genes citoplasmáticos de 39 cultivares de arroz de sequeiro brasileiros. Para a cultura do feijão-caupi, ao nosso conhecimento, até o momento não foi realizado nenhum estudo neste sentido.

Neste estudo objetivou-se estimar a base genética dos cultivares de feijão-caupi lançados no Brasil entre 1960 e 2020 e fornecer subsídios para a escolha de genitores em futuros cruzamentos conduzidos nos programas de melhoramento genético da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção de informações relacionadas aos cultivares de feijão-caupi recomendados e lançados no Brasil entre os anos de 1960 a 2020, foram elaborados os pedigrees a partir das informações contidas em folders de lançamento de cultivares, informações de melhoristas, livros e sites especializados, além de relatórios internos de instituições de ensino e pesquisa. Também foi realizada consultas ao site de Registro Nacional de Cultivares (Brasil, 2021).

As genealogias dos cultivares de feijão-caupi foram examinadas para identificar todos os seus ancestrais. Os critérios para analisar os cruzamentos dos genótipos utilizados seguiram esta ordem: inicialmente, se fez a análise dos cruzamentos dos genótipos descritos dentro de parênteses; posteriormente, os cruzamentos presentes dentro de colchetes; seguido dos cruzamentos dentro de chaves e, finalmente, os fora de qualquer símbolo.

Os ancestrais foram definidos, como os últimos genitores na árvore genealógica de um cultivar, além dos quais não se dispõe de informações genealógicas. Cultivares que se originaram diretamente por seleção dos ancestrais, foram utilizados como sinônimos de ancestrais, para facilitar o entendimento, quando possível.

Na construção do dendrograma, procurou-se chegar, na medida do possível, aos primeiros ancestrais. O parental feminino foi inserido do lado esquerdo e o masculino do lado direito, conforme conversão internacional para representação de cruzamentos em programas de melhoramento genético, o que permite preservar a identificação de herança genética

citoplasmática, que é transmitida exclusivamente pelo gameta feminino através de mitocôndrias e plastídios.

Utilizou-se o cálculo do coeficiente de parentesco entre os ancestrais e as cultivares modernas para estimar a contribuição genética de cada ancestral para a constituição genética dos cultivares. Vale ressaltar que, em cada cultivar, a contribuição de um ancestral para um cultivar moderno corresponde à proporção teórica de genes vindos deste ancestral, considerando-se que a cada cruzamento a progênie recebe proporções iguais dos genitores (50% de cada) (St. Martin, 1982; Delannay et al., 1983).

A partir dos valores dos coeficientes de parentesco foi calculada a contribuição genética relativa de um ancestral para o conjunto gênico das cultivares. A contribuição genética relativa foi calculada como a média aritmética de todos os coeficientes de parentesco entre um ancestral e todas as cultivares. Para isso, os ancestrais foram classificados em ordem decrescente de magnitude de sua contribuição genética relativa (CGR) e o somatório de suas contribuições genéticas relativas sucessivas representaram a contribuição genética relativa acumulada (CGA) (Rangel 1996; Wysmierski, 2010).

Neste trabalho foram consideradas as seguintes suposições:

- a) todos os ancestrais são independentes, ou seja, apresentam coeficiente de parentesco nulo ($f = 0$);
- b) a cada cruzamento, 50% dos genes vêm de cada genitor;
- c) os genitores, cultivares e linhagens são homozigóticos e homogêneos;
- d) o coeficiente de parentesco entre uma planta mutante e o genótipo original foi considerado como sendo 1;
- e) o coeficiente de parentesco entre plantas selecionadas e suas cultivares de origem (exceto se oriundos de cruzamentos naturais) foram consideradas como sendo 1.

Os coeficientes de parentesco foram calculados com o auxílio do programa Microsoft Excel[®]. A equação utilizada para se calcular o coeficiente de parentesco foi obtida de Falconer e Mackay (1996):

$$f_{X,Y} = \frac{1}{4} (f_{AC} + f_{AD} + f_{BC} + f_{BD})$$

Onde:

f: coeficiente de parentesco entre dois indivíduos;

X: indivíduo 1;

Y: indivíduo 2;

A e B: genitores de X;

C e D: genitores de Y;

Posteriormente e utilizando o mesmo raciocínio, realizou-se o levantamento dos ancestrais utilizados em maior frequência como genitor feminino, sendo estes responsáveis pelos genes citoplasmáticos que conferem as características de herança.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados 82 cultivares de feijão-caupi lançados no Brasil do período de 1960 a 2020 (Tabela 1). Desses, foram encontradas as genealogias de apenas 45 cultivares (Figura 1). Devido à falta de informações e divulgação sobre os genitores utilizados nos cruzamentos realizados em programas de melhoramento genético do feijão-caupi na literatura, vários ancestrais que participaram da contribuição genética relativa apresentaram origem desconhecida.

Tabela 1 - Relação dos cultivares de feijão-caupi lançados no Brasil de 1960 a 2020 (List of cowpea cultivars released in Brazil from 1960 to 2020) Brasil, UFMA, 2021.

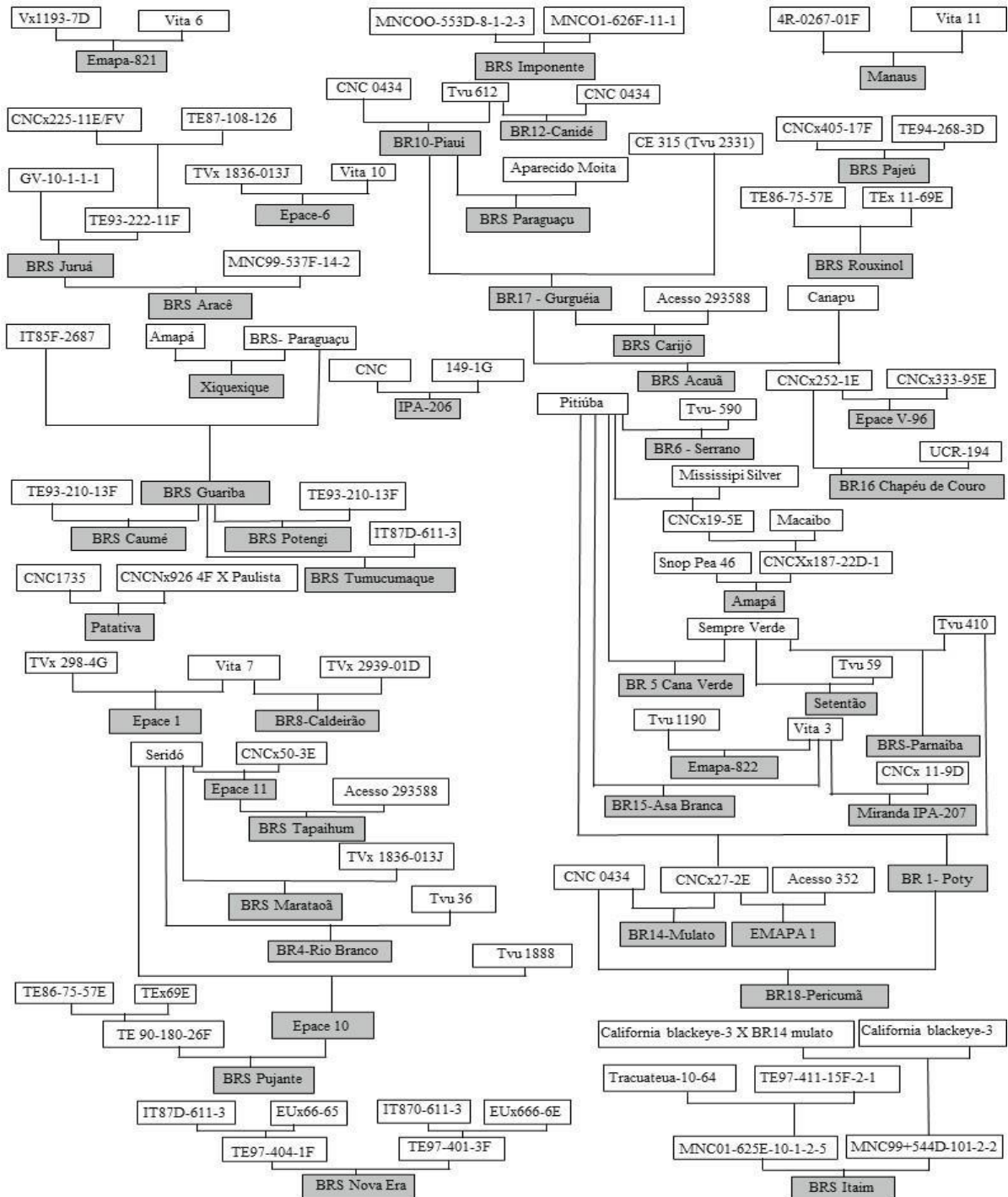
Nº	Cultivar	Instituição	Estado de recomendação	Ano de lançamento
1	Seridó	UFC	CE	1968
2	IPEANV-69	IPEAN	PA	1969
3	Pitiúba	UFC	CE	1970
4	CE-315 (Chaula)	UFC	CE, PI	1978
5	Quarenta Dias	Embrapa Meio-Norte	PI	1981
6	Pendanga	Embrapa Meio-Norte	PI	1981
7	Sempre-verde	Embrapa Meio-Norte	PI	1981
8	Manaus (4R-0267-01F; Vita 11)	Embrapa Amazônia Ocidental	AM	1981
9	IPA-201	IPA ⁽⁷⁾	PE	1981
10	IPA-202	IPA	PE	1981
11	IPA-203	IPA	PE	1981
12	Epace-1 (TVx 289-4G; Vita 7)	EPACE	CE	1981
13	Emapa-822 (TVu 1190; Vita 3)	EMAPA	MA	1982
14	Emapa-821 (TVx 1193- 7D; Vita 6)	EMAPA	MA	1982
15	Epace-6 (TVx 1836- 013J; Vita 10)	EPACE	CE	1983
16	Otilia	UFC	CE	1984
17	Frade Preto	UFC	CE	1984

18	BR1-Poty	Embrapa Meio-Norte	MA, PI, CE, RN, PE, BA	1984
19	BR2-Bragança	Embrapa Amazônia Oriental	PA	1985
20	BR3-Tracuateua	Embrapa Amazônia Oriental	PA	1985
21	BR4-Rio Branco	Embrapa Acre	AC	1985
22	BR5-Cana-verde	Embrapa Acre	AC	1985
23	BR6-Serrano	EMPARN	RN	1985
24	CNC-0434	Embrapa Amapá	MA	1985
25	BR7-Parnaíba	Embrapa Meio-Norte	PI	1986
26	BR8-Caldeirão	Embrapa Amazônia Ocidental	AM	1986
27	BR9-Longá	Embrapa Amazônia Ocidental	PI	1987
28	BR10-Piauí	Embrapa Amazônia Ocidental	PI	1987
29	IPA-204	IPA	PE	1987
30	IPA-205	IPA	PE	1988
31	BR12-Canindé	Embrapa Meio-Norte	PI	1988
32	EPACE-10	EPACE	CE	1988
33	Setentão	UFC	CE	1988
34	João Paulo II (10)	UFC	CE	1989
35	IPA-206	IPA	PE	1989
36	BR13-Caicó	EMPARN	RN	1989
37	Riso-do-ano	EMPARN	RN	1990
38	BR14-Mulato	Embrapa Meio-Norte	PI	1990
39	BR15-Asa branca	EMPARN	RN	1990
40	BR16-Chapéu-de-couro	EMPARN	RN	1990
41	EPACE 11	EPACE	CE	1991
42	Pampo	UFC	CE	1994
43	EMEPA-1	EMEPA ⁽¹²⁾	PB	1994
44	BR17 - Gurgueia	Embrapa Meio-Norte	PI	1994
45	Amapá	Embrapa Amapá	AP	1997
46	BR18 - Pericumã	EMAPA	MA	1998
47	Monteiro	Embrapa Meio-Norte	PI	1998
48	Patativa	Embrapa Agroindústria Tropical	CE	1999
49	EPACE V96	Embrapa Agroindústria Tropical	CE	1999
50	BRS Mazagão	Embrapa Amapá	AP	2000
51	BRS Rouxinhol	EBDA	BA	2001
52	BRS Paraguaçu	EBDA	BA	2002
53	Poços de Caldas- MG	EPAMIG	MG	2003
54	BRS Guariba	Embrapa Meio-Norte	PI, MA	2004

55	BRS Marataoã	Embrapa Meio-Norte	PI, PB, BA	2004
56	BRS Urubuquara	Embrapa Amazônia Oriental	PA	2005
57	BRS Milênio	Embrapa Amazônia Oriental	PA	2005
58	BRS Potiguar	EMPARN	RN	2005
59	BRS Novaera	Embrapa Meio-Norte	RO, RR, PA, AP, AM, MA, RN, MS	2007
60	BRS Pujante	Embrapa Semiárido	PE, BA	2007
61	BRS XiqueXique	Embrapa Meio-Norte	AP, AM, PA, RO, RR; AL, BA, MA, PE, PI, RN, SE, MT, MS	2008
62	BRS Cauamé	Embrapa Meio-Norte	RD, RR, AP, AM, PA, PE, AL, SE, MS	2009
63	BRS Tumucumaque	Embrapa Meio-Norte	RD, AM, RR, PA, AP, MA, PI, RN, PE, AL, SE MT, MS	2009
64	BRS Pajeú	Embrapa Meio-Norte	RR, MA, PI, PE, AL, SE, MT, MS	2009
65	BRS Potengi	Embrapa Meio-Norte	RD, RR, AM, MA, PI, RN, PE, MT, MS	2009
66	BRS Itaim	Embrapa Meio-Norte	RR, PA, TO, PI	2009
67	BRS Juruá	Embrapa Meio-Norte	RR, PA, TO, PI, SE, BA, MT	2009
68	BRS Aracê	Embrapa Meio-Norte	RR, PA, TO, PI, SE, BA, MT	2009
69	BRS Acauã	Embrapa Semiárido	BA, PE, PI	2010
70	BRS Carijó	Embrapa Semiárido	BA, PE, PI	2010
71	BRS Tapaihum	Embrapa Semiárido	BA, PE, PI	2010
72	Miranda IPA 207	IPA	MA, MT, PI, PA	2016
73	BRS Imponente	Embrapa Meio-Norte	MA, MT, PI, PA	2016
74	De Metro	HORTIVALE	–	2003
75	BRS Abiru	Embrapa Meio-Norte	BA, CE, PE, PI	2017
76	BRS Batarra	Embrapa Meio-Norte	BA, CE, PE, PI	2017
77	BRS Bené	Embrapa Amazônia Oriental	PA	2020
78	BRS Guirá	Embrapa Amazônia Oriental	PA	2020
79	BRS Lauré	Embrapa Amazônia Oriental	PA	2020
80	BRS Natalina	Embrapa Amazônia Oriental	PA	2020
81	BRS Raira	Embrapa Amazônia Oriental	PA	2020
82	BRS Utinga	Embrapa Amazônia Oriental	PA	2020

Fonte: Adaptado de Freire Filho et al. (2011) e CultivarWeb (2022).

Figura 1. Genealogias dos cultivares de feijão-caupi utilizadas para os cálculos de contribuição genética Relativa e Acumulada dos ancestrais (Genealogies of the cowpea cultivars used for the calculations of Relative and Cumulative genetic contribution of the ancestors). Os retângulos destacados em cinza representam os cultivares. Brasil, UFMA, 2021.



Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

Entre as cultivares estudadas, verificou-se que inúmeros institutos de ensino e pesquisa em diversas regiões do país produziram os cultivares utilizando um total de 81 genótipos (ancestrais). Destaca-se como a principal instituição de pesquisa de feijão-caupí a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), por meio de suas unidades descentralizadas a Embrapa Meio Norte e Embrapa Amazônia Oriental, que em parceria com diversas instituições realizam estudos que possibilitam o desenvolvimento de novos genótipos.

Utilizando-se as genealogias, fez-se o cálculo da contribuição genética relativa dos ancestrais (Tabela 2). Observou-se que Pitiúba tem contribuído sozinho com 3,01% para a formação da base genética dos cultivares de feijão-caupí. Em seguida aparecem Seridó e CNC 0434 cada um contribuindo com 2,81% e 2,78%, respectivamente. Em seguida, observa-se Guariba, Vita 3 e Sempre Verde contribuindo com 2,11% cada, e Tvú 410 apresentando uma contribuição de 2,06%. Estes contribuem juntos com 16,98% do conjunto gênico total dos cultivares, representado pela contribuição genética acumulada (Tabela 2).

Tabela 2 - Contribuição genética relativa (CGR) e acumulada (CGA) dos ancestrais dos cultivares de feijão-caupí (Relative genetic contribution (RGC) and cumulative genetic contribution (CGA) of ancestors of cowpea cultivars) Brasil, UFMA, 2021.

Nº	Ancestrais	CGR (%)	CGA (%)	Nº	Ancestrais	CGR (%)	CGA (%)
1	Pitiúba	3,01	3,01	42	TE91-69E	1,11	63,19
2	Seridó	2,81	5,82	43	CNCx405-17F	1,11	64,30
3	CNC 0434	2,78	8,59	44	TE94-262-3D	1,11	65,41
4	Guariba	2,11	10,70	45	Epace 11	1,11	66,52
5	Vita 3	2,11	12,82	46	MNC01-625E 10-1-2-5	1,11	67,64
6	Sempre Verde	2,11	14,93	47	MNC99-544D-10-1-2-2	1,11	68,75
7	TVu 410	2,06	16,98	48	Tvu-590	1,11	69,86
8	TVu 612	1,90	18,89	49	MNCOO-553D-8-1-2-3	1,11	70,97
9	BR10 Piauí	1,81	20,69	50	MNC01-626F-11-1	1,11	72,08
10	BRS Paraguaçu	1,81	22,50	51	149-1G	1,11	73,19
11	TVx 1836-013J	1,61	24,11	52	CNC	1,11	74,30
12	Vita 7	1,61	25,72	53	CNCx225-11E/FV	1,11	75,41
13	TE93-210-13F	1,61	27,33	54	TE90-180-26F	1,11	76,52
14	CNCx27-2E	1,61	28,94	55	CNC 1735	1,11	77,64
15	BR 17 Gurguéia	1,61	30,55	56	CNCx 11-9D	1,11	78,75
16	Acesso 293588	1,61	32,16	57	CNCx 333-95E	1,11	79,86
17	CNCx252-1E	1,61	33,77	58	UCR-194	1,11	80,97
18	CNCx50-3E	1,61	35,39	59	Amapá	1,11	82,08
19	CNCx 252-1E	1,61	37,00	60	BRS Juruá	1,11	83,19
20	IT85F-2687	1,56	38,55	61	GV-10-1-1-1	1,06	84,25
21	CE 315 (TVu 2331)	1,31	39,86	62	TE93-222-11F	1,06	85,30
22	Epace 10	1,11	40,97	63	CNCXx 187-22D-1	1,06	86,36
23	TVu 36	1,11	42,08	64	Snop Pea 46	1,06	87,41

24	TVx 298-4G	1,11	43,19	65	TVu 1888	1,06	88,47
25	TVx 2939-01D	1,11	44,30	66	IT87D-611-3	1,06	89,52
26	Vx 1193-7D	1,11	45,41	67	TE86-75-57E	1,06	90,58
27	Vita 6	1,11	46,52	68	EUx66-65	0,56	91,14
28	Vita 10	1,11	47,64	69	IT870-661-3	0,56	91,69
29	Amapá	1,11	48,75	70	EUx666-6E	0,56	92,25
30	TE97-404-1F	1,11	49,86	71	Tracuateua	0,56	92,80
31	TE97-401-3F	1,11	50,97	72	TE97-411-15F-2-1	0,56	93,36
32	MNC99-537F-14-2	1,11	52,08	73	CNCNx 926 4F	0,56	93,91
33	4R-0267-01F	1,11	53,19	74	Paulista	0,56	94,47
34	Vita 11	1,11	54,30	75	TE87-108-126	0,53	95,00
35	BR1 Poty	1,11	55,41	76	CNCx19-5E	0,53	95,52
36	Acesso 352	1,11	56,52	77	Macaibo	0,53	96,05
37	TVu 1190	1,11	57,64	78	California Blackeye-3	0,53	96,58
38	TVu 59	1,11	58,75	79	CNCx 225-11E/FV	0,53	97,11
39	UCR-194	1,11	59,86	80	BR14-Mulato	0,28	97,39
40	Canapu	1,11	60,97	81	Mississipe Silver	0,26	97,65
41	Aparecido Moita	1,11	62,08	82	-	-	

Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

Também merecem destaque os ancestrais Tv u 612 que participa com 1,90% além de BR10 Piauí e BRS Paraguaçu que contribuem com 1,81% cada. Juntam-se a estes os genótipos TVx 1836-013J, Vita 7, TE93-210-13F, CNCx27-2E, BR 17 Gurguéia, Acesso 293588, CNCx252-1E, CNCx50-3E e CNCx 252-1E, todos eles contribuindo com 1,61% do conjunto gênico. Juntamente com os já citados, somam 19 ancestrais. Somente estes contribuem cumulativamente com 37% da base genética dos 45 cultivares (Tabela 2).

Verificou-se um aumento no número de ancestrais comparativamente aos resultados obtidos por Montalván et al. (2006), passando-se de 35 para 81 ancestrais, de onde provém o germoplasma da cultura em uso. As contribuições desses ancestrais à base genética nesta pesquisa alternam desde 0,26% (Mississipe Silver) à 3,01% (Pitiúba), diferente da variação encontrada por Montalván et al. (2006), que foi de 0,29% (TVx4569-03E) a 15,04% (TVu1190).

Quantitativamente, houve uma ampliação na base genética do feijão-caupi, por exemplo, as dez principais ancestrais encontradas por Montalván et al. (2006), contribuíram com 62,54% dos genes em uso. Já neste estudo as dez primeiras cultivares representam apenas 22,50%, ou seja, um aumento de 40,04% na contribuição das demais cultivares à base genética brasileira.

Comparando ancestrais que contribuíram com mais de 2% da base genética, foram encontrados 20 ancestrais correspondendo a 87,10% do estudo de base genética de Montalván

et al. (2006), e apenas 7 ancestrais nesta pesquisa, correspondendo a 16,98%. Assim, na medida em que houve uma diminuição da contribuição relativa dos dez principais ancestrais e dos que contribuem com mais de 2%, houve um aumento na contribuição total dos ancestrais que contribuem com menos de 2% à base genética.

Em um estudo semelhante, Hiromoto e Vello (1986) examinaram cultivares de soja recomendadas para o Brasil e observaram que estas cultivares eram derivadas de apenas 26 ancestrais, sendo que quatro ancestrais contribuíram com aproximadamente 50% da base genética, apenas nove contribuíram com aproximadamente 80% da base genética e 11 contribuíram com 89% da base genética, e indicaram que a soja, até aquela data no Brasil, possuía uma base muito estreita. Wysmierski (2010) também caracterizou a base genética da soja e concluiu que a base genética dos cultivares de soja brasileira é bastante estreita. Visto que apesar de ser constituída por 60 ancestrais, apenas quatro deles representam 55,26% da base genética e apenas 14 contribuem com mais de 1% individualmente para a base genética.

Resultados semelhantes foram obtidos por Montalván et al. (1998) num estudo detalhado sobre a base genética dos cultivares de arroz de sequeiro brasileiro, e por Silva et al. (1999) com cultivares de arroz-de-sequeiro e sequeiro favorecido. Estes autores verificaram, através da CGA, que apenas três ancestrais participaram com 42,61% do conjunto gênico dos 34 cultivares de genealogia conhecida e que apenas os nove primeiros ancestrais com 69,88%. Ambos os autores consideraram a base genética estreita e, revelando a necessidade de ampliação.

A base genética do nosso estudo com feijão-caupi, considerada estreita, trás o risco de vulnerabilidade genética e expõe a necessidade de sua ampliação, para que se possa maximizar os ganhos de seleção, aprimorando a atuação das espécies no melhoramento genético (CAMARENA, 2005).

No caso do feijão, é sugerido por Singh et al. (1997) utilizar genes de origens evolutivas diferentes dentro de um mesmo *pool* gênico, entre *pools* diferentes e através de cruzamentos com feijões silvestres e espécies de *pools* secundários e terciários são uma alternativa para ampliar a base genética.

Em relação a origem dos genes citoplasmáticos (Tabela 3), aqueles que determinam as características de herança materna nos cultivares de feijão-caupi, observou-se que dos 81 ancestrais utilizados nos cruzamentos dos cultivares, 27 foram utilizados como genitores femininos (Tabela 3). Os ancestrais Pitiúba, CNC 0434, Seridó, IT85F-2687 e BR10 Piauí, foram as fontes ancestrais citoplasmáticas mais significativas, visto que estes forneceram genes

citoplasmáticos para 9 cultivares (23,68%), 7 cultivares (18,42%), 5 cultivares (13,15%), 3 cultivares (7,89%) e 3 cultivares (7,89%), respectivamente.

Tabela 3 - Relação dos ancestrais que contribuíram com os genes citoplasmáticos dos cultivares de feijão-caupi (List of ancestors that contributed the cytoplasmic genes of cowpea cultivars). Brasil, UFMA, 2021.

Fontes dos genes citoplasmáticos	Cultivares favorecidas	Fontes dos genes citoplasmáticos	Cultivares favorecidas	Fontes dos genes citoplasmáticos	Cultivares favorecidas
Pitiúba	9	Sempre Verde	2	TE97-401-3F	1
CNC 0434	7	Vx 1193-7D	1	IT87D-611-3	1
Seridó	5	TVx 1836-013J	1	IT870-661-3	1
IT85F-2687	3	BRS Juruá	1	MNCOO-553D-8-1-2-3	1
BR10 Piauí	3	Amapá	1	4R-0267-01F	1
GV-10-1-1-1	2	TE93-210-13F	1	CNCX 405-17F	1
CNCx225-11E/FV	2	CNC	1	TVu 612	1
Snop Pea 46	2	CNC 1735	1	MNC01-626F-11-1	1
CNCx19-5E	2	TVx 298-4G	1	Tracuateua-10-64	1
Guariba	2	Vita 7	1	CNCx 27-2E	1
TE86-75-57E	2	Epace 11	1	Vita 11	1
BR 17 Gurguéia	2	TE90-180-26F	1	TVu 1190	1
CNCx252-1E	2	TE97-404-1F	1	-	-

Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, podemos inferir que a base genética do feijão-caupi no Brasil é estreita, visto que foram utilizados com maior frequência nos cruzamentos os ancestrais (Pitiúba, Seridó, CNC 0434, Guariba, Vita 3, Sempre Verde e TVu 410).

Com relação a origem dos genes citoplasmáticos dos cultivares de feijão-caupi, as principais fontes ancestrais citoplasmáticas foram os ancestrais Pitiúba, CNC 0434, e Seridó, que tem contribuindo em maior potencial através dos genes mitocondriais e plastidiais que conferem as características de herança materna no *pool* gênico dos cultivares de feijão-caupi brasileiros.

REFERÊNCIAS

ALIYU, O. M.; LAWAL, O. O.; WAHAB, A. A.; IBRAHIM, U. Y. Evaluation of advanced breeding lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) for high seed yield under farmers' field conditions. **Plant Breeding and Biotechnology**, Suwon (Coreia do Sul), v. 7, n. 1, p. 12-23, 2019. Disponível em: <

<https://www.plantbreedbio.org/journal/view.html?uid=510&&vmd=Full> > Acesso em: 28 nov. 2022.

BOREM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6.^a ed. Viçosa, UFV, 2013, 523p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.

Registro Nacional de Cultivar-RNC. Disponível em: <

https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php > Acesso em: 27 nov. 2021.

CAMARENA, F. Magnitud e impacto potencial de la liberación de los organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales. Caso: Leguminosas de grano. In: O. Hidalgo; W. Roca; E.N. Fernández 68 Northcote (eds.). **Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales: Casos Algodón, Leguminosas de grano, Maíz y Papa**. Consejo Nacional del Ambiente. Lima, Perú. 2005. p. 19-40.

CARDOSO, J. M. K. **Estimativa da diversidade genética entre acessos do tipo Carioca de feijão comum com base em marcadores moleculares**. 2009. 72 p. Dissertação (mestrado em Melhoramento Vegetal e Biotecnologia). Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas (SP). 2009.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 6 – Safra 2018/19**. Brasília: CONAB, 2019. Disponível em:

<<http://safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 27 nov. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.9 – safra 2021/22, nº6 – Sexto levantamento | março 2022**. Disponível em:

<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 01 abr. 2022.

CULTIVARWEB. Registro Nacional de Cultivares, Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento. **Cultivares registradas**. Disponível

<https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php> em: Acesso em: 12 abr. 2022.

DELANNAY, D. M.; RODGERS, D. M.; PALMER, R. G. Relative genetic contributions among ancestral lines to North American soybean cultivars. **Crop Science**. Estados Unidos, v. 23, p.944-949, 1983. Disponível em: <

<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1983.0011183X002300050031x>.> Acesso em: 20 abr. 2022.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4 ed. Essex: Harlow, UK: Longmans, 1996. p. 464.

- FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, JPP; WATT, EE (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília, Brasília: Embrapa meio-norte-capítulo em livro científico (ALICE), p. 26-46. 1988.
- FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. G. Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 12, p. 13-69-1372, 1983. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/51622> > Acesso em: 12 Jul. 2022.
- 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**, 519 p. 2005.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, J. E. L. F.; VIEIRA, P. F. DE M. J. A cultura: Aspectos socioeconômicos. In: Vale, J. C do; Bertini, C.; Borém, A. (ed.) **Feijão-Caupi do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2017. Cap. 1, p. 9-34.
- GONDWE, T. M.; ALAMU, E. O.; MDZINISO, P.; MAZIYA-DIXON, B. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) for food security: an evaluation of end-user traits of improved varieties in Swaziland. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2019.
- HIROMOTO, D. M.; VELLO, N. A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. **Revista Brasileira de Genética**, v. 9, n. 2, p. 295-306, 1986.
- MATOS FILHO C. H. A.; GOMES R. L. F.; ROCHA M. M.; FREIRE FILHO F. R.; LOPES Â. C. de A. Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 348-354, 2009. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/cr/a/6VcynQDRbnQVDbvQTSd4syJ/?lang=pt> > Acesso em: 24 nov. 2021.
- MONTALVÁN, R.; DESTRO, D.; SILVA, E.F.; MONTAÑO, D. C. Genetic base of Brazilian upland rice cultivars. **Journal of Genetics & Breeding**, Rome, v 53, p. 203-209, 1998.
- MONTALVÁN, R.; MAIA, J.; MACIEL, S.; RAMOS, S.; FREIRE FILHO, F. R. Base genética das cultivares brasileiras de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6, 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio: anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.
- RANGEL, P. H. N.; GUIMARÃES, E. P.; NEVES, P. C. F. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 5, p. 349-357, 1996. Disponível em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/19291/1/pab96_06_maio.pdf > Acesso em: 28 nov. 2022.
- SILVA, D. O. M. **Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para produção de grãos, teores de proteínas e minerais em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) no semiárido brasileiro**. 2018. 190 p. Tese (Doutorado Acadêmico em Recursos Genéticos Vegetais) UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia. 2018.
- SILVA, E. F.; MONTALVÁN, R.; ANDO, A. Genealogia dos cultivares brasileiros de arroz-de-sequeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 58, p. 281-286. 1999. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/brag/a/KmvSwMyPMtf6rFy4mgkX4Xs/?lang=pt#> > Acesso em: 14 nov. 2022.

SILVA, S. D. S.; MAIA, J. M.; DE ARAÚJO, Z. B.; FREIRE FILHO, F. R. Composição química de 45 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**. 2002.

SILVA, T. F. **Seleção de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) resistentes ao nematoide-das-galhas**. 2021. 67p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SING, B. B. **Genética e melhoramento do feijão-caupi – Uma perspectiva histórica**. In: IV REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, Teresina, PI, 2011.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M. (Eds.). **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA, Nigéria, p. 22-40. 2002.

SINGH, S. P.; ROCA, W. M.; DEBOUCK, D. G. Ampliación de la base genética de los cultivares de frijol: hibridación interespecífica en *Phaseolus* especies. In: SINGH, S. P.; VOYSEST, O. (Ed.). **Taller de mejoramiento de frijol para el siglo XXI: bases para una estrategia para América Latina**. Cali: CIAT. p. 9-19. 1997.

ST. MARTINS.; S. K. Effective population size for the soybean improvement program in maturity groups 00 to IV. **Crop Science**, v. 22, n. 1, p. 151-152, 1982.

WANG, G.; MCGIFFEN, M. E.; EHLERS, J. D.; MARCHI. Competitive ability of cowpea genotypes with different growth habit. **Weed Science**, v 5, p. 775-778. 2017.

WYSMIERSKI, P. T. **Contribuição genética dos ancestrais da soja às cultivares brasileiras**. 2010. Piracicaba. NL: Universidade de São Paulo. 99 f (Dissertação de Mestrado). 2010.