

**DESEMPENHO MORFOAGRONÔMICO E VARIABILIDADE  
FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÕES EM DIFERENTES  
AMBIENTES DE CULTIVO**

**JULIANA PACHECO VENTURA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO - UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2026**

DESEMPENHO MORFOAGRONÔMICO E VARIABILIDADE  
FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÕES EM DIFERENTES  
AMBIENTES DE CULTIVO

**JULIANA PACHECO VENTURA**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutora em Genética e Melhoramento  
de Plantas

Orientador: Prof. D.Sc. Geraldo de Amaral Gravina

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2026

## FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

V468

Ventura, Juliana Pacheco.

Desempenho morfoagronômico e variabilidade fenotípica de genótipos de feijões em diferentes ambientes de cultivo / Juliana Pacheco Ventura. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

101 f. : il.

Bibliografia: 71 - 84.

Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2026.  
Orientador: Geraldo de Amaral Gravina.

1. *Vigna unguiculata* . 2. *Phaseolus vulgaris*. 3. Brasil. 4. Portugal. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

DESEMPENHO MORFOAGRONÔMICO E VARIABILIDADE  
FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÕES EM DIFERENTES  
AMBIENTES DE CULTIVO

**JULIANA PACHECO VENTURA**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção do  
título de Doutora em Genética e Melhoramento  
de Plantas. ”

Aprovada em 26 de fevereiro de 2026.

Assinado por: **Pedro Manuel Vieira Talhinas**  
Num. de Identificação: 09543224  
Data: 2026.05.09 14:49:25+01'00'

Comissão Examinadora



---

Prof. Pedro Talhinas (Ph.D, Agronomia) - ISA - ULisboa

---

Prof. Rogério Figueiredo Daher (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

---

Dr. Derivaldo Pureza da Cruz (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF

---

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia) - UENF  
(Orientador)

A Deus;  
Aos meus pais, Leonardo e Luzia;  
Aos meus irmãos, Sara, Filipe e Isabel.  
DEDICO

*“Há caminhos que escolhemos e caminhos que nos escolhem — esta tese é parte dos dois”.*

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é resultado de um longo percurso, construído com o apoio, incentivo e colaboração de muitas pessoas e instituições, às quais registro aqui meu agradecimento.

Ao meu bom Deus, que, por Sua infinita bondade, me fez viver coisas extraordinárias durante esses quatro anos de doutorado. Chegar até aqui foi muito mais do que pedi a Ele e muito mais do que sonhei.

Aos meus pais, Luzia e Leonardo, pelo incentivo constante à educação, que permitiu a meus irmãos e a mim sonhar e alcançar voos cada vez mais altos, como a conclusão deste doutorado.

Aos meus irmãos, Sara, Filipe e Isabel, por serem presença, apoio e força em todas as fases da minha vida.

A Gabriela Tavares, minha querida amiga e parceira de laboratório com quem pude partilhar grandes momentos e profundas conversas.

A Glacielen Ribeiro, grande amiga e que, em um momento de indecisão, não me deixou desistir do sonho de me tornar uma doutora. Você é umas das razões de eu ter conseguido chegar até aqui!

A Neide Ribeiro, cuja chegada transformou a convivência de colegas de apartamento em amizade, tornando esse caminho mais leve, deixando uma gratidão que permanece.

Aos meus colegas do LEAG, pelas trocas de conhecimento, pelo suporte nos experimentos a campo e pelos momentos compartilhados ao longo do doutorado.

Aos “rapazes da Pesagro”, pela ajuda fundamental na condução dos experimentos em campo e pelos ensinamentos partilhados.

Ao Rafael “Cabral” e Hércules dos Santos, pela essencial ajuda em minhas análises estatísticas e pela paciência ao sanar minhas dúvidas.

A Sydney Galvão, pela boa amizade e por dividir comigo as agruras da escrita da tese.

A Jocarla Crevelari e Moisés Ambrósio, que foram grandes incentivadores e peças fundamentais para que hoje eu estivesse na Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas.

A Martina Calì, pela amizade, parceria e por me ajudar a romper a barreira linguística durante meu período em Portugal.

À engenheira Teresa Nascimento (ISA – ULisboa), por sua boa amizade para comigo, pelos almoços partilhados, pelas conversas divertidas no laboratório e por me ensinar tanto.

Ao professor Geraldo Gravina, meu orientador, pela orientação paciente e cuidadosa ao longo de todo o curso, além do apoio, confiança, disponibilidade e pelos ensinamentos que contribuíram positivamente para minha formação acadêmica, científica e pessoal.

Ao professor Pedro Talhinhas, meu coorientador durante o doutorado sanduíche no exterior, pela acolhida em seu laboratório no ISA – ULisboa, pela generosidade em compartilhar comigo seu amplo conhecimento e pelas conversas sempre estimulantes, que frequentemente ganhavam forma com a ajuda do Google Maps, tornando cada discussão ainda mais rica e memorável.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e à Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de aprendizado, pela formação oferecida e pelo apoio institucional durante a realização deste doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa e apoio financeiro no Brasil e no exterior, indispensáveis para a execução deste trabalho.

E a todos que aqui não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento. Muito obrigada! Sou grata a Deus por suas vidas.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil – Código de Financiamento 001, bem como por meio da concessão de bolsa do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE), processo nº 88881.981025/2024-01/Edital nº 06/2024. Adicionalmente, a pesquisa contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio da concessão de bolsa de Doutorado-Sanduíche no Exterior (SWE), processo nº 200376/2024-1, conforme o Edital nº 36/2023.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	4
2.1 Objetivo Geral .....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>3. CAPÍTULOS</b> .....	5
<b>3.1. ANÁLISE DE DESEMPENHO AGRONÔMICO E DIVERGÊNCIA FENOTÍPICA DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI NO NORTE FLUMINENSE VIA ANÁLISES MULTIVARIADAS</b> .....	5
<b>3.1.1 INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>3.1.2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	7
3.1.2.1 Feijão-caupi: origem, domesticação e aspectos morfoagronômicos	7
3.1.2.2 Análise de desempenho morfoagronômico como ferramenta de avaliação de genótipos .....	10
3.1.2.3 Análise estatística e multivariada na avaliação de genótipos de feijão-caupi .....	11
3.1.2.4 Relevância da avaliação regional na seleção de genótipos de feijão-caupi .....	13
<b>3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
3.1.3.1 Material Genético .....	15

3.1.3.2 Local e Condução Experimental .....	16
3.1.3.3 Variáveis Analisadas .....	18
3.1.3.4 Incidência de Doença .....	19
3.1.3.5 Análise de Dados .....	20
<b>3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	20
3.1.4.1 Análise do Desempenho Agronômico .....	20
3.1.4.2 Análise Biplot .....	28
3.1.4.3 Agrupamento UPGMA .....	38
<b>3.1.5 CONCLUSÕES</b> .....	40
<b>3.2 DESEMPENHO MORFOAGRONÔMICO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-VAGEM (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) CULTIVADAS NO BRASIL E EM PORTUGAL</b> .....	41
<b>3.2.1 INTRODUÇÃO</b> .....	41
<b>3.2.2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	43
3.2.2.1 Caracterização botânica e variabilidade do feijão-vagem .....	43
3.2.2.2 Caracteres morfoagronômicos de interesse no feijão-vagem .....	44
3.2.2.3 Variabilidade fenotípica e avaliação de genótipos .....	46
<b>3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	47
3.2.3.1 Material vegetal .....	47
3.2.3.2 Instalação do experimento (Brasil) .....	47
3.2.3.3 Instalação do experimento (Portugal) .....	49
3.2.3.4 Características avaliadas .....	50
3.2.3.5 Análise de dados .....	51
<b>3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	52
3.2.4.1 Desempenho das linhagens no Brasil .....	52
3.2.4.2 Condições meteorológicas dos ensaios .....	59
3.2.4.3 Comportamento morfoagronômico das linhagens no ambiente português .....	63
3.2.4.4 Análise descritiva do ensaio conduzido no Brasil .....	65
3.2.4.5 Comparação descritiva do desempenho das linhagens no Brasil e Portugal .....	66
<b>3.2.5 CONCLUSÕES</b> .....	70
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	71

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Área experimental seis dias após a semeadura do feijão-caupi, Campos dos Goytacazes – RJ, 2023 ..... 17
- Figura 2.** “Which-Won-Where” da classificação de dez genótipos de feijão-caupi em relação às características número de dias para o florescimento (DF), número de plantas (NP), peso de vagem (PVag), comprimento de vagem (CVag), número de grãos (NG), peso de cem grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade (PROD), avaliados em 2024 ..... 29
- Figura 3.** “Discriminação vs representatividade” de dez genótipos de feijão-caupi em relação às características número de dias para o florescimento (DF), número de plantas (NP), peso de vagem (PVag), comprimento de vagem (CVag), número de grãos (NG), peso de cem grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade (PROD), avaliados em 2024 ..... 32
- Figura 4.** “Relação entre as características” de dez genótipos de feijão-caupi em relação às variáveis número de dias para o florescimento (DF), número de plantas (NP), peso de vagem (PVag), comprimento de vagem (CVag), número de grãos (NG), peso de cem grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade (PROD), avaliados em 2024 ..... 36
- Figura 5.** Análise de agrupamento (dissimilaridade de Gower via método UPGMA) para caracteres qualitativos avaliados em 10 cultivares

de feijão-caupi nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, 2024 ..	38
<b>Figura 6.</b> Área experimental antes do tutoramento das plantas, Campos dos Goytacazes – RJ, maio de 2023 .....	49
<b>Figura 7.</b> Área experimental preparada para a semeadura, Instituto Superior de Agronomia – ULisboa, março de 2025 .....	50
<b>Figura 8.</b> Correlações de Pearson entre caracteres morfoagronômicos avaliados nas linhagens de feijão-vagem no experimento conduzido em Campos dos Goytacazes – RJ (2023). Os coeficientes de correlação estão representados por cores, variando de -1 a +1, conforme a escala apresentada. * e ** indicam correlações significativas pelo teste t a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente .....	56
<b>Figura 9.</b> Temperaturas máxima, média e mínima (°C) encontradas em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, no período de maio a julho de 2023 .....	60
<b>Figura 10.</b> Precipitação total (mm) registrada durante a condução do experimento nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, no período de maio a julho de 2023 .....	60
<b>Figura 11.</b> Precipitação total (mm) registrada durante a condução do experimento nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, no período de maio a julho de 2023 .....	61
<b>Figura 12.</b> Temperaturas máxima, média e mínima (°C) encontradas em Lisboa, Portugal, no período de março a junho de 2025 .....	62
<b>Figura 13.</b> Umidades relativas do ar máxima, média e mínima (%) encontradas em Lisboa, Brasil, no período de março a junho de 2025 ....	62
<b>Figura 14.</b> Precipitação total (mm) registrada durante a condução do ensaio em Lisboa, Portugal, no período de março a junho de 2025 .....	63
<b>Figura 15.</b> Distribuição dos caracteres morfoagronômicos de linhagens de feijão-vagem cultivadas em Campos dos Goytacazes, Brasil, 2023 (verde) e Lisboa, Portugal, 2025 (laranja). A linha central em cada boxplot representa a mediana, as extremidades da caixa indicam o primeiro (Q <sub>1</sub> ) e o terceiro (Q <sub>3</sub> ) quartis, os "whiskers" (bigodes) estendem-se até os valores mínimo e máximo e os pontos representam possíveis <i>outliers</i> .....	67

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Identificação das 10 cultivares de feijão-caupi avaliadas no município de Campos dos Goytacazes – RJ, 2024 .....	15
<b>Tabela 2:</b> Características químicas do solo utilizado no experimento, Campos dos Goytacazes – RJ, 2024 .....	16
<b>Tabela 3.</b> Escala para leitura do Acamamento, realizada na maturidade das vagens, pouco antes da colheita .....	18
<b>Tabela 4.</b> Escala para leitura da Arquitetura da Planta, realizada na maturidade das vagens, pouco antes da colheita .....	19
<b>Tabela 5.</b> Escala para leitura do Valor de Cultivo, realizada no início da maturidade das vagens .....	19
<b>Tabela 6.</b> Escala de notas para avaliação das principais doenças do feijão-caupi .....	19
<b>Tabela 7.</b> Análise de variância das médias do feijão-caupi em Campos dos Goytacazes – RJ, 2024 .....	21
<b>Tabela 8.</b> Agrupamento de médias pelo algoritmo de Scott-Knott a 1% de probabilidade para variáveis quantitativas de cultivares de feijão-caupi em Campos dos Goytacazes – RJ, 2024 .....	21
<b>Tabela 9.</b> Identificação de 21 linhagens de feijão-vagem avaliadas no município de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil (2023) e Lisboa, Portugal (2025) .....	47

<b>Tabela 10.</b> Análise de variância dos caracteres morfoagronômicos avaliados em linhagens de feijão-vagem nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, 2023 .....	52
<b>Tabela 11.</b> Agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para variáveis morfoagronômicas de linhagens de feijão-vagem cultivadas nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, 2023 .....	53
<b>Tabela 12.</b> Estatística descritiva dos caracteres morfoagronômicos de linhagens de feijão-vagem cultivadas em Lisboa, Portugal, 2025. São apresentados os valores de mediana ( $\tilde{x}$ ), primeiro e terceiro quartis ( $Q_1$ e $Q_3$ ), além dos valores mínimo e máximo observados .....	64
<b>Tabela 13.</b> Estatística descritiva dos caracteres morfoagronômicos de linhagens de feijão-vagem cultivadas em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, 2023. São apresentados os valores de mediana ( $\tilde{x}$ ), primeiro e terceiro quartis ( $Q_1$ e $Q_3$ ), além dos valores mínimo e máximo observados .....	66

## RESUMO

VENTURA, JULIANA PACHECO; M.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2026. Desempenho morfoagronômico e variabilidade fenotípica de genótipos de feijões em diferentes ambientes de cultivo. Orientador: Prof. Dr. Geraldo de Amaral Gravina; Conselheiros: D.Sc. Silvaldo Felipe da Silveira e D.Sc. Derivaldo Pureza da Cruz

Os feijões constituem um grupo de leguminosas de grande importância agrônômica e socioeconômica, amplamente cultivados em diferentes regiões e sistemas de produção. A compreensão do desempenho morfoagronômico e da variabilidade fenotípica de genótipos bem como da resposta fenotípica observada em diferentes ambientes de cultivo é fundamental para ampliar o conhecimento sobre a expressão de caracteres de interesse agrônômico. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho morfoagronômico e a variabilidade fenotípica de genótipos de feijões, considerando diferentes espécies, ambientes de cultivo e abordagens analíticas. O primeiro eixo do estudo abordou a caracterização morfoagronômica de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], avaliados em condições tropicais no Norte Fluminense, por meio de análises univariadas e multivariadas. Foram investigados caracteres fenológicos, morfológicos, produtivos e fitossanitários, visando a descrever a variabilidade existente entre genótipos e as associações entre caracteres. As análises multivariadas permitiram identificar padrões de desempenho e agrupar genótipos com base em características fenotípicas semelhantes, contribuindo para a compreensão do comportamento agrônômico da cultura no ambiente

avaliado. O segundo eixo consistiu na análise comparativa do desempenho morfoagronômico de linhagens de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas em ambientes distintos, no Brasil e em Portugal. Essa abordagem teve caráter descritivo e exploratório, possibilitando a observação de diferenças na expressão de caracteres morfoagronômicos associadas às condições edafoclimáticas e ao manejo adotado em cada local. A comparação entre ambientes evidenciou a plasticidade fenotípica das linhagens, sem a aplicação de modelos estatísticos formais de interação entre genótipos e ambientes. De forma integrada, os resultados deste trabalho evidenciam a relevância da avaliação morfoagronômica e da análise da variabilidade fenotípica em feijões, tanto em estudos conduzidos em ambiente único quanto em comparações exploratórias entre ambientes de cultivo. As abordagens empregadas contribuíram para ampliar o entendimento sobre o desempenho e o comportamento fenotípico de genótipos, fornecendo subsídios para pesquisas futuras em melhoramento vegetal e caracterização de leguminosas em diferentes contextos de cultivo.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; *Phaseolus vulgaris*; Brasil; Portugal.

## ABSTRACT

VENTURA, JULIANA PACHECO; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2026. Morphoagronomic performance and phenotypic variability of bean genotypes under different cultivation environments. Advisor: Prof. Dr. Geraldo de Amaral Gravina; Committee Members: D.Sc. Silvaldo Felipe da Silveira and D.Sc. Derivaldo Pureza da Cruz.

Beans constitute a group of legumes of great agronomic and socioeconomic importance, widely cultivated in different regions and production systems. Understanding the morphoagronomic performance and phenotypic variability of genotypes, as well as the phenotypic response observed under different cultivation environments, is essential to expand knowledge on the expression of agronomically important traits. In this context, the present study aimed to evaluate the morphoagronomic performance and phenotypic variability of bean genotypes, considering different species, cultivation environments, and analytical approaches. The first axis of the study focused on the morphoagronomic characterization of cowpea genotypes [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] evaluated under tropical conditions in the Northern Fluminense region, using univariate and multivariate analyses. Phenological, morphological, productive, and phytosanitary traits were investigated in order to describe the existing variability among genotypes and the associations among traits. Multivariate analyses allowed the identification of performance patterns and the grouping of genotypes based on similar phenotypic characteristics, contributing to the understanding of the agronomic behavior of the crop in the evaluated environment. The second axis consisted of a comparative

analysis of the morphoagronomic performance of snap bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivated in distinct environments in Brazil and Portugal. This approach had a descriptive and exploratory character, enabling the observation of differences in the expression of morphoagronomic traits associated with edaphoclimatic conditions and management practices adopted at each location. The comparison between environments highlighted the phenotypic plasticity of the lines, without the application of formal statistical models of genotype × environment interaction. In an integrated manner, the results of this study emphasize the relevance of morphoagronomic evaluation and phenotypic variability analysis in beans, both in studies conducted under a single environment and in exploratory comparisons across cultivation environments. The approaches employed contributed to expanding the understanding of genotype performance and phenotypic behavior, providing support for future research in plant breeding and the characterization of legumes under different cultivation contexts.

Keywords: *Vigna unguiculata*; *Phaseolus vulgaris*; Brazil; Portugal.

## 1. INTRODUÇÃO

As leguminosas utilizadas na alimentação humana ocupam posição estratégica na segurança alimentar devido ao alto valor nutricional, versatilidade de uso e relevância socioeconômica em diferentes sistemas produtivos. Entre elas, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e o feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) ganham destaque pela importância agronômica, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, sendo espécies que são exploradas desde a agricultura familiar a sistemas mais tecnificados e de grande escala de produção (Timko & Singh, 2008; Freire Filho, 2011; Pavlovic *et al.*, 2025).

O feijão-caupi é uma cultura de grande importância no Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, que por ser considerado lá um alimento básico, está também profundamente inserido nos sistemas agrícolas regionais. Devido às suas características de rusticidade, ciclo curto e tolerância a condições ambientais limitantes, a cultura tem se expandido para novas fronteiras agrícolas, especialmente em sistemas tecnificados no Cerrado (Freire Filho *et al.*, 2017; CONAB, 2026).

Essa mudança de cenário reforça a necessidade de novas informações agronômicas regionalizadas e de avaliar cultivares em contextos ambientais específicos, visto que o desempenho fenotípico pode variar de acordo com o local de cultivo e o manejo adotado (Cruz & Carneiro, 2006; Torres *et al.*, 2015; Gerrano *et al.*, 2022).

O feijão-vagem, caracterizado pelo consumo das vagens imaturas, é uma das hortaliças mais consumidas em escala mundial, sendo cultivado em diversas regiões. A cultura ostenta diferentes tipos comerciais e alta variabilidade de características morfoagronômicas associadas às vagens e à arquitetura da planta, por essa razão, a caracterização de genótipos constitui um passo fundamental na compreensão do comportamento produtivo e da qualidade do produto colhido em condições específicas de cultivo (Mariguele *et al.*, 2008; Lopes, 2020; Sinoia, 2024).

Em leguminosas, a expressão de características morfológicas, fenológicas e produtivas está relacionada com a interação entre o potencial genético e o ambiente, de forma que ensaios conduzidos em condições reais de cultivo são parte essencial na descrição da variabilidade fenotípica disponível e sobre o comportamento agronômico dos genótipos avaliados (Borém & Miranda, 2005; Cruz & Carneiro, 2006). Além disso, estudos relatam que o desempenho do feijão-vagem pode ser influenciado por condições ambientais e de manejo, o que justifica avaliações em diferentes contextos produtivos (Vidal *et al.*, 2007; Gomes *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a análise do desempenho morfoagronômico possibilita a identificação de contrastes entre os genótipos, o reconhecimento de características de maior relevância para o desempenho bem como a geração de subsídios técnicos especialmente para programas de melhoramento (Francelino *et al.*, 2011; Artega *et al.*, 2019).

Do ponto de vista metodológico, a análise estatística é parte basilar para conferir robustez às inferências sobre as diferenças entre genótipos, principalmente em ensaios de campos, que estão sujeitos ao componente ambiental. A ANOVA e testes de agrupamento de médias são ferramentas clássicas na identificação de contrastes significativos em características de interesse, enquanto métodos multivariados e biplots contribuem para interpretar múltiplas variáveis e explorar relações entre características, facilitando a interpretação de conjuntos de dados complexos e a visualização de padrões de divergência fenotípica (Yan & Rajcan, 2002; Cruz & Carneiro, 2006; Yang *et al.*, 2009; Hongyu *et al.*, 2016).

Diante disso, esta tese foi estruturada segundo duas abordagens complementares de avaliação morfoagronômica em dois tipos de feijão. No

Capítulo 1, foram feitas a caracterização agronômica e a análise de divergência fenotípica de cultivares de feijão-caupi avaliadas no contexto da região Norte Fluminense, por meio de análises univariadas e multivariadas, a fim de descrever padrões de desempenho e auxiliar na identificação de genótipos mais promissores às condições regionais.

No Capítulo 2, foi analisado o comportamento morfoagronômico de linhagens de feijão-vagem em dois ambientes de cultivo (Brasil e Portugal), com uso de abordagem descritiva e comparativa, visando a compreender como cenários edafoclimáticos contrastantes podem influenciar a expressão fenotípica de características agronômicas e produtivas.

## **1. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho morfoagronômico e a variabilidade fenotípica de genótipos de feijões por meio da caracterização agronômica e de análises estatísticas uni e multivariadas, considerando diferentes condições de cultivo e contextos edafoclimáticos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Caracterizar o desempenho morfoagronômico de cultivares de feijão-caupi nas condições do Norte Fluminense;

Estimar a divergência fenotípica entre cultivares de feijão-caupi por meio de técnicas de análise multivariada;

Avaliar o desempenho agronômico de linhagens de feijão-vagem cultivadas no Brasil com base em análises univariadas;

Investigar associações entre caracteres morfológicos e produtivos das linhagens de feijão-vagem por meio de análise de correlação;

Descrever o comportamento fenotípico das linhagens de feijão-vagem cultivadas em condições mediterrânicas, em Portugal; e

Comparar, de forma descritiva, a expressão das características morfoagronômicas das linhagens entre os ambientes de cultivo do Brasil e de Portugal.

### 3 CAPÍTULOS

#### 3.1 ANÁLISE DE DESEMPENHO AGRONÔMICO E DIVERGÊNCIA FENOTÍPICA DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI NO NORTE FLUMINENSE, VIA ANÁLISES MULTIVARIADAS

##### 3.1.1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa que apresenta relevância agronômica e socioeconômica no Brasil, em particular nas regiões Norte e Nordeste. Tradicionalmente consolidada como um alimento básico nas regiões Norte e Nordeste, a cultura tem passado por uma transformação estrutural nas últimas décadas, ultrapassando o cultivo de subsistência para integrar sistemas produtivos altamente tecnificados. Esta versatilidade possibilita que a espécie seja explorada tanto por agricultores familiares quanto por grandes produtores, estabelecendo-se como um ponto estratégico para a segurança alimentar e para o agronegócio nacional (Freire Filho, 2011; Torres *et al.*, 2015; Torres Filho *et al.*, 2017; Lopes *et al.*, 2023).

O cultivo do feijão-caupi tem como finalidade tanto a produção de grãos secos como a produção de feijão-verde e apresenta grande importância nutricional, recebendo destaque pelos altos teores proteicos, presença de fibras

alimentares e minerais antioxidantes, como ferro e zinco, além dos baixos níveis de lipídios. Essas características fortalecem sua função estratégica na segurança alimentar, especialmente como uma fonte proteica alternativa, acessível para populações em situação de vulnerabilidade nutricional (Torres Filho *et al.*, 2017; Araújo, 2020; Silva *et al.*, 2024).

Do ponto de vista produtivo, a cultura destaca-se pela rusticidade e eficiência fisiológica, apresentando ciclo curto e tolerância ao déficit hídrico, além da capacidade de produção satisfatória em solos de baixa fertilidade, o que favorece sua adaptação a ambientes tropicais e semiáridos (Carvalho *et al.*, 2019; Araújo, 2020; Aragão *et al.*, 2022; Lopes *et al.*, 2023). No contexto atual, esses atributos impulsionaram a expansão do feijão-caupi para além do Norte e Nordeste, alcançando crescente destaque em sistemas produtivos tecnificados do Centro-Oeste, especialmente no Cerrado, sendo utilizado tanto como safra principal como segunda safra, o que elevou o patamar de competitividade do grão e estimulou a mecanização total do cultivo (Freire Filho *et al.*, 2017; CONAB, 2026).

Contudo, esse avanço tecnológico demanda suporte técnico contínuo dos programas de melhoramento genético. A ampla base genética da espécie possibilita trabalhar em prol do aumento da produtividade, da melhoria da arquitetura da planta, objetivando o porte ereto para a colheita mecanizada, e adaptação a diferentes ambientes de cultivo (Torres *et al.*, 2015). Desse modo, proceder à caracterização morfoagronômica representa um papel essencial, pois possibilita identificar genótipos superiores e estimar parâmetros genéticos, como a herdabilidade, que subsidiam a tomada de decisão no processo de seleção (Cruz & Carneiro, 2006).

Somado a isso, técnicas de análise multivariada têm sido frequentemente utilizadas no melhoramento genético por permitirem a avaliação simultânea de múltiplos caracteres, contribuindo para uma seleção mais acurada de genótipos promissores (Bertini *et al.*, 2010; Hongyu *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2018; Araújo, 2020; Araújo *et al.*, 2021). Entre essas técnicas, o método GT biplot recebe destaque por possibilitar a visualização gráfica das associações entre genótipos e características, facilitando a identificação de atributos redundantes e reconhecendo aqueles mais apropriados para a seleção indireta (Yan & Rajcan, 2002; Sant'Anna *et al.*, 2020).

Embora haja uma importância crescente da cultura, estudos de avaliação conduzidos no estado do Rio de Janeiro ainda são escassos. A região Norte Fluminense, especialmente, apresenta desafios edafoclimáticos particulares, como solos de baixa profundidade e períodos de chuvas irregulares (clima Aw), que podem influenciar significativamente no desempenho agrônomo das cultivares (Paes *et al.*, 2012). Diante dessa lacuna de informações técnicas, surge a demanda por avaliações regionais que validem o comportamento dessa cultura sob as condições locais.

Objetivando suprir essa demanda e tornar disponíveis informações que contribuam para programas de melhoramento genético e recomendações técnicas aos produtores locais, a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) estabeleceu parceria com a Embrapa Meio-Norte para a avaliação de cultivares e genótipos de feijão-caupi em condições edafoclimáticas do Norte Fluminense (Araújo, 2019). Diante desse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar o desempenho morfoagronômico de dez cultivares de feijão-caupi, estimar parâmetros genéticos e empregar técnicas de análise multivariada, buscando a identificação de genótipos superiores e mais adaptados às referidas condições regionais.

### 3.1.2 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1.2.1 Feijão-caupi: origem, domesticação e aspectos morfoagronômicos

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.,  $2n = 2x = 22$ ) é classificado como uma planta autógama, herbácea e dicotiledônea, pertencente à família Fabaceae. De origem africana, é considerado uma das mais antigas leguminosas utilizadas na alimentação humana, ocupando a posição de terceira leguminosa mais importante do mundo. Além disso, é cultivado em diferentes condições ambientais em razão da sua ampla capacidade adaptativa, o que também fomentou sua dispersão ao longo do tempo (Freire Filho, 1988; Timko & Singh, 2008; Freire Filho, 2011; Tomooka *et al.*, 2014; Torres *et al.* 2015; Torres Filho *et al.*, 2017; Ambika *et al.*, 2022; Lopes *et al.*, 2023).

Em relação à sua história evolutiva, registros e evidências históricas sugerem que, além de sua origem, a domesticação do feijão-caupi também ocorreu no continente africano. Embora a localização do primeiro evento de domesticação ainda seja debatida, a África Ocidental é amplamente reconhecida como o principal centro de diversidade da espécie, exibindo a maior variabilidade genética entre os tipos cultivados (Freire Filho, 1988; Timko & Singh, 2008). De acordo com Freire Filho (1988) e Ambika et al. (2022), a forma silvestre de *V. unguiculata* var. *spontanea* (anteriormente var. *dekindtiana*), com larga distribuição nesse continente, é tida como o principal progenitor do feijão-caupi cultivado.

Sob o aspecto do melhoramento e adaptação agrícola, conforme apontado por Freire Filho (1988), Timko & Singh (2008), Tomooka et al. (2014) e Ambika et al. (2022), o processo de domesticação em leguminosas proporcionou mudanças que resultaram em maior produtividade, facilidade de colheita e sobrevivência em diferentes condições ambientais. No feijão-caupi, tais avanços incluíram alterações fenotípicas significativas, como a redução na taxa de crescimento relativo inicial e no número de vagens no pedúnculo, além do aumento do aporte de fotossintatos para as estruturas reprodutivas, resultando no incremento do tamanho das vagens e sementes. Houve ainda um declínio acentuado na deiscência, com a conseqüente perda do estilhaçamento das vagens, diminuição da dormência e maior uniformidade de maturação, características essenciais que, de acordo com os autores supracitados, são fundamentais para a adaptação ao cultivo agrícola.

Como resultado desse processo evolutivo e de seleção artificial, o feijão-caupi apresenta considerável variabilidade morfoagronômica. Os hábitos de crescimento variam entre ereto, semiereto, semiprostrado e prostrado. Quanto à floração, enquanto genótipos precoces podem produzir grãos secos em cerca de 60 dias, aqueles de ciclo longo podem levar até 150 dias para amadurecer, conforme o fotoperíodo. Ressalta-se que, embora a espécie seja predominantemente autógama, taxas de cruzamento de até 5% já foram registradas, o que contribui para a manutenção da variabilidade genética. Essa diversidade estrutural é estratégica para o melhoramento do feijão-caupi, visto que influencia a interceptação de luz, o manejo de plantas daninhas, a

mecanização e a resposta ao adensamento (Timko & Singh, 2008; Freire Filho, 2011; Tomooka *et al.*, 2014; Castro, 2025).

No que se refere à sua introdução no continente americano, ela ocorreu durante o período colonial, sendo trazido para o Brasil por colonizadores portugueses no século XVI, a princípio no estado da Bahia. Com o decorrer dos anos, a cultura foi difundida para toda a região Nordeste, onde encontrou condições edafoclimáticas favoráveis ao seu desenvolvimento (Freire Filho, 1988; Freire Filho, 2011; Torres Filho *et al.*, 2017; Motta, 2022).

Durante esse processo histórico de adaptação ao Brasil, o feijão-caupi passou a integrar sistemas agrícolas tradicionais, recebendo diferentes denominações populares como feijão-de-corda, feijão-fradinho e feijão-macassar. Essa diversidade de nomenclaturas evidencia a profunda inserção cultural, social e alimentar nas diferentes regiões brasileiras, onde sua presença é consolidada tanto na dieta básica quanto na economia local (Xavier *et al.*, 2005; d'Albuquerque, 2013; Araújo, 2020; Lopes *et al.*, 2023).

Em síntese, a consolidação histórica do feijão-caupi esteve relacionada a ambientes caracterizados por déficit hídrico e baixa fertilidade natural dos solos. Essa resiliência intrínseca, somada ao ciclo curto e ao baixo custo de produção, garantiu sua permanência em sistemas de agricultura familiar e sua importância estratégica para a segurança alimentar em regiões semiáridas (Freire Filho, 1988; Xavier *et al.*, 2005; Aragão *et al.*, 2022; Mohammed *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2026).

No entanto, para além dessa base tradicional, observa-se nas últimas décadas uma transição robusta para sistemas tecnificados. Essa mudança de patamar permitiu que a cultura se expandisse para outras regiões do país, integrando com sucesso os modernos sistemas de rotação e sucessão de culturas (Torres *et al.*, 2017). Sob essa perspectiva, estudos recentes destacam que o gênero *Vigna* permanece em constante processo de adaptação e seleção, inclusive em sistemas de alta tecnologia, o que caracteriza um fenômeno de “neodomesticação” em determinadas regiões e reafirma o potencial da espécie diante dos novos desafios da agricultura global (Tomooka *et al.*, 2014).

Diante disso, para que essa expansão seja sustentável, faz-se necessário que o comportamento desses genótipos seja avaliado em diferentes regiões edafoclimáticas. Nesse sentido, a caracterização morfoagronômica em regiões

ainda pouco exploradas tecnicamente torna-se uma importante estratégia para identificar materiais que conciliem produtividade e adaptação às características locais.

### **3.1.2.2 Análise do desempenho morfoagronômico como ferramenta de avaliação de genótipos**

Para que haja sucesso em qualquer programa de melhoramento de feijão-caupi, é preciso ir além da simples observação do desempenho fenotípico dos genótipos em campo, uma vez que o fenótipo é resultante da interação do genótipo com o ambiente, mesmo que, em estudos conduzidos em ambiente específico, essa interação se manifeste de forma integrada ao efeito ambiental local (Cruz & Carneiro, 2006). Nesse contexto, a análise do desempenho morfoagronômico se mostra como uma etapa fundamental, visto que promove uma avaliação detalhada e sistemática da variabilidade disponível, auxiliando no processo de seleção de genótipos superiores com maior rigor científico.

Nesse sentido, torna-se possível identificar materiais com alto potencial produtivo e desempenho otimizado para determinadas condições de cultivo (Gerrano *et al.*, 2022). Uma análise de desempenho morfoagronômico conduzida de forma minuciosa permite reconhecer características desejáveis para o direcionamento de recomendações regionais de cultivares já lançadas, garantindo que o material atenda às exigências do mercado agrícola local (Melo, 2010). Além do mais, esse processo é essencial na validação da adaptação desses genótipos a condições ambientais específicas, colaborando para sistemas de produção mais eficientes e seguros (Rather *et al.*, 2024).

Partindo dessa premissa, Freire Filho (2011) afirma que já há alguns anos a necessidade de caracterização e de classificação do feijão-caupi tem sido percebida, não apenas para fins de descrição de cultivares, mas também para fins comerciais, tendo em vista que a cultura tem se expandido nos mercados interno e externo.

Para isso, características como arquitetura da planta, hábito de crescimento, dias para o florescimento, comprimento e número de vagens, número de grãos por vagem e massa dos grãos são largamente utilizadas pelo fato de, em conjunto, mostrarem a capacidade produtiva e a adequação dos genótipos aos sistemas de cultivo (Timko & Singh, 2008; Freire Filho, 2011;

Torres *et al.*, 2015). Essas avaliações revelam oportunidades para a identificação de genótipos mais adaptados às condições regionais, haja vista que a caracterização inadequada e/ou seleções baseadas em apenas uma característica podem, muitas vezes, dificultar a exploração do real potencial desses genótipos, tornando-se um desafio para programas de melhoramento genético de plantas (Bertini *et al.*, 2010; Araújo *et al.*, 2019).

Por fim, a análise de desempenho morfoagronômico assume um papel relevante quando conduzida em condições edafoclimáticas específicas, visto que possibilita a avaliação do desempenho relativo de diferentes genótipos sob um mesmo ambiente de cultivo. Mesmo que não abranja múltiplos locais ou anos agrícolas, esse tipo de avaliação permite identificar diferenças fenotípicas consistentes, cooperando para a seleção de genótipos que apresentem melhor desempenho agrônomo e maior adaptação às condições locais (Freire Filho *et al.*, 2005; Cruz & Carneiro, 2006; Timko & Singh, 2008; Souza, 2016).

Consequentemente, estudos dessa natureza geram subsídios importantes tanto para programas de melhoramento quanto para recomendação técnica de genótipos promissores em regiões ainda pouco exploradas, sob o ponto de vista comercial e agrônomo.

### **3.1.2.3 Análise estatística e multivariada na avaliação de genótipos de feijão-caupi**

A avaliação de genótipos com base em múltiplas características morfoagronômicas requer a utilização de métodos estatísticos que possibilitem a interpretação objetiva da variabilidade observada em campo. Em ensaios de campo, a análise estatística constitui uma etapa essencial para a identificação de diferenças significativas entre os genótipos e para conferir maior confiabilidade às inferências realizadas, diminuindo a influência de variações ambientais próprias das condições de cultivo (Cruz & Carneiro, 2006).

Nesse sentido, o rigor na análise dos dados torna-se determinante para garantir a acurácia da caracterização fenotípica. Esse procedimento é visto como um pré-requisito fundamental para o sucesso em qualquer estratégia de seleção e recomendação de genótipos superiores, assegurando que sua escolha tenha como base informações fenotípicas consistentes, que possibilitem inferências

mais seguras sobre seu potencial agrônomo e subsidiem decisões de seleção em programas de melhoramento (Borém & Miranda, 2005).

A análise de variância (ANOVA) é uma ferramenta estatística básica para a comparação de tratamentos, possibilitando a verificação de diferenças estatísticas significativas entre eles com um nível de confiança determinado pelo analista (Paese *et al.*, 2001). No contexto do melhoramento do feijão-caupi, esse método é largamente utilizado por permitir a verificação de contrastes fenotípicos consistentes para os caracteres avaliados, mesmo em ensaios conduzidos em um único ambiente ou apenas em um ano agrícola (Cruz & Carneiro, 2006; Freire Filho, 2011). Desse modo, quando a variação total é decomposta, a ANOVA oferece subsídios essenciais para a comparação do desempenho relativo dos genótipos e para a tomada de decisão segura em etapas iniciais de seleção.

Contudo, a avaliação isolada de cada característica, de forma univariada, pode limitar a interpretação dos resultados, principalmente quando o objetivo é a seleção de genótipos que apresentem desempenho equilibrado em múltiplos caracteres de interesse agrônomo. Desta forma, a seleção com base em apenas uma característica pode conduzir à escolha de genótipos com bom desempenho específico, mas com comportamento insatisfatório em outros pontos importantes, o que, muitas vezes, resulta em limitações agrônomicas ou comerciais (Bertini *et al.*, 2010; Hongyu *et al.*, 2016)

Nesse contexto, as técnicas de análise multivariada exercem função estratégica no melhoramento de plantas, visto que permitem a avaliação simultânea de um conjunto de características, tendo em conta as inter-relações que existem entre elas. Esses métodos possibilitam a síntese das informações contidas em bancos de dados complexos, auxiliando na identificação de padrões de similaridade entre os genótipos, colaborando para uma seleção mais eficiente e consistente (Oliveira *et al.*, 2018; Araújo, 2020; Cruz, 2021).

Uma das principais ferramentas utilizadas nesse cenário é a Análise de Componentes Principais (ACP), um método que transforma linearmente o conjunto original de variáveis correlacionadas em um novo grupo de variáveis independentes e não correlacionadas. Ao reter o máximo de variação total dos dados em ordem de estimação, a ACP simplifica a estrutura de covariância e possibilita que a maior parte da informação original seja contida em um conjunto

substancialmente menor de variáveis (Hongyu, 2015; Hongyu *et al.*, 2016; Cruz, 2021).

Entre as ferramentas multivariadas, os métodos de ordenação e representação gráfica têm sido bastante utilizados em razão da sua capacidade de integrar informações fenotípicas de forma visual e intuitiva. O método GT biplot (Genotype by Trait) recebe destaque por possibilitar a visualização simultânea das relações entre genótipos e características agrônômicas, permitindo a identificação de associações positivas ou negativas entre caracteres e a presença de variáveis redundantes (Yan & Rajcan, 2002; Shojaei *et al.*, 2022; Stanslous *et al.*, 2023).

O uso do GT biplot em estudos de caracterização morfoagronômica é especialmente útil na interpretação de ensaios conduzidos em condições específicas de cultivo. Além de facilitar a identificação de genótipos com desempenho equilibrado, o método GT biplot viabiliza a seleção indireta de características de difícil medição e ainda fornece suporte para estratégias de melhoramento e para recomendações técnicas mais fundamentadas (Oliveira *et al.*, 2018; Sant'Anna *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2021).

Por fim, a utilização combinada de análises estatísticas clássicas e técnicas multivariadas mostra-se uma abordagem robusta para a avaliação morfoagronômica de genótipos de feijão-caupi. Mesmo em estudos conduzidos em ambiente único, essa integração metodológica permite explorar de forma mais ampla a variabilidade fenotípica disponível, fornecendo informações relevantes para a seleção de genótipos promissores e para o avanço de programas de melhoramento genético em contextos regionais.

#### **3.1.2.4 Relevância da avaliação regional na seleção de genótipos de feijão-caupi**

A avaliação regional de genótipos é considerada uma etapa estratégica no contexto do melhoramento genético do feijão-caupi, sobretudo em função de sua ampla variabilidade fenotípica e de sua expressiva capacidade de resposta às condições edafoclimáticas locais. Ainda que conduzidos em um único ambiente, estudos dessa natureza possibilitam que sejam levantados contrastes consistentes quanto ao desempenho agrônômico dos genótipos, gerando

subsídios importantes para a caracterização fenotípica e para a seleção inicial de genótipos promissores (Cruz & Carneiro, 2006; Freire Filho, 2011).

Na cultura do caupi, fatores como regime hídrico, temperatura, fotoperíodo e características do solo podem exercer influência direta sobre as características morfoagronômicas, casos da arquitetura da planta, do ciclo, do florescimento e da produtividade de grãos (Timko & Singh, 2008). Nessa perspectiva, Oliveira *et al.* (2002) observam que muitas cultivares de feijão-caupi têm sido utilizadas sem a consideração apropriada em relação a suas variações de comportamento nas diferentes regiões de cultivo. Logo, a avaliação de genótipos sob condições ambientais específicas torna-se necessária para que seja possível a seleção de materiais superiores e sejam evitadas inferências imprecisas do desempenho observado em outras áreas, fornecendo, assim, subsídios tanto para o cultivo imediato quanto para o direcionamento de novos programas de melhoramento (Torres *et al.*, 2015).

Ainda que ensaios multilocais sejam fundamentais para estudos de adaptabilidade e estabilidade, ensaios conduzidos em ambientes específicos têm papel de igual relevância nas fases iniciais de seleção e caracterização. Tais estudos possibilitam a identificação de genótipos com potencial diferenciado em nichos edafoclimáticos determinados, além de gerar importantes subsídios para caracterização de germoplasma, escolhas de genitores e definição de estratégias de hibridação (Cruz & Carneiro, 2006; Freire *et al.*, 2005).

Nesse sentido, é válido considerar que as estimativas de parâmetros genéticos geradas em ambiente único refletem a expressão fenotípica vinculada apenas àquela condição particular de cultivo. Como esses parâmetros podem conter componentes da interação genótipo  $\times$  ambiente (G  $\times$  E), é importante que sua interpretação leve em conta que os resultados revelem o potencial genético manifestado sob a influência dos fatores locais (Cruz, 2021).

No cenário brasileiro, conhecido por apresentar alta heterogeneidade ambiental, a avaliação regional assume ainda maior relevância, especialmente em áreas consideradas secundárias ou pouco exploradas tecnicamente para a produção do feijão-caupi. Nesses locais, a insuficiência de informações agronômicas específicas limita a adoção de cultivares adequadas, evidenciando a necessidade de estudos que considerem as particularidades edafoclimáticas locais (Freire Filho, 2011; Araújo *et al.*, 2019).

Desse modo, a caracterização morfoagronômica de genótipos de feijão-caupi em ambientes regionais coopera significativamente na identificação de genótipos com desempenho satisfatório e potencial de adaptação às condições locais. Além de subsidiar recomendações técnicas pontuais, esse tipo de avaliação fortalece os programas de melhoramento genético ao ampliar o conhecimento sobre o comportamento fenotípico da espécie, dando suporte à tomada de decisão em etapas subsequentes de seleção e desenvolvimento de novas cultivares.

### 3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1.3.1 Material genético

Foram avaliados 10 genótipos de feijão-caupi, consistindo em cultivares de elite com ampla diversidade de subclasses comerciais (Tabela 1), integrantes do programa de melhoramento da Embrapa Meio-Norte.

**Tabela 1.** Identificação das 10 cultivares de feijão-caupi avaliadas no município de Campos dos Goytacazes – RJ, 2024

Nº	Cultivar	Subclasse comercial	Peso de 100 sementes (g)
1	BRS Bené	Sempre-verde	28,0
2	BRS Utinga	Branco rugoso	27,0
3	BRS Guirá	Preto fosco	20,3
4	BRS Natalina	Manteiga	7,7
5	BRS Verdejante	Verde	17,1
6	BRS Inhuma	Canapu	19,5
7	BRS Exuberante	Sempre-verde	25,4
8	BRS Olhonegro	Fradinho	20,8
9	BRS Imponente	Branco rugoso	34,0
10	BRS Rouxinol	Mulato	17,0

Fonte: Embrapa Meio-Norte.

### 3.1.3.2 Local e condução experimental

A condução do experimento seguiu as recomendações técnicas para ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da Embrapa Meio-Norte, garantindo a padronização das avaliações e a comparabilidade dos dados.

O experimento foi conduzido entre abril e junho de 2024, nas instalações da PESAGRO-RIO em Campos dos Goytacazes (21°18'47" de latitude Sul e 41°18'24" de longitude Oeste) em convênio com a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como Aw (tropical úmido), com verões chuvosos, invernos secos e temperatura superior a 18 °C no mês mais frio. O solo é classificado como Cambissolo de origem fluvial, com pouca profundidade, drenagem moderada a imperfeita (Paes *et al.*, 2012).

Anteriormente à instalação do experimento, foi coletada uma amostra de solo de 0 a 20 cm de profundidade, para que suas características químicas pudessem ser conhecidas (Tabela 2).

**Tabela 2:** Características químicas do solo utilizado no experimento, Campos dos Goytacazes – RJ, 2024

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	C	N	MO
-água-	-- (mg/dm <sup>3</sup> ) --		----- (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> ) -----					----- (%) -----		(g/dm <sup>3</sup> )
5,6	7	29	2,2	1,4	0,00	2,71	0,06	1,24	0,17	2,1
SB	T	t	m	V	Fe	Cu	Zn	Mn	S	B
----- (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> ) -----			----- (%) -----		----- (mg/dm <sup>3</sup> ) -----					
3,7	6,4	3,7	0,0	57,9	78	1,0	4,9	12,6	9,83	0,80

pH= medida da acidez e alcalinidade (água); P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = Hidrogênio + alumínio; Na = sódio; C = carbono; N = nitrogênio; MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; T = CTC = capacidade de troca de cátions; t = CTC efetiva; m = saturação por alumínio; V = saturação por bases; Fe = ferro; Cu = cobre; Zn = zinco; Mn = manganês; S = enxofre; B = boro.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições e 10 tratamentos, conforme o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : é o valor de uma observação correspondente ao j-ésimo bloco do i-ésimo tratamento;

$\mu$  = é a média geral;

$T_i$ : é o efeito do i-ésimo tratamento;

$\beta_j$ : é o efeito do j-ésimo bloco; e

$e_{ij}$ : é o erro experimental.

Cada parcela mediu 2,0 m x 5,0 m, constituída por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento. A área útil correspondeu a duas fileiras centrais, totalizando 5 metros quadrados. O espaçamento entre fileiras foi de 0,50 m, e a semeadura foi feita em sulcos, com 10 sementes por metro, resultando em uma população estimada de 160.000 plantas por hectare após o desbaste.

O plantio foi feito manualmente em uma área de 520 m<sup>2</sup> (Figura 1). A adubação seguiu as recomendações da análise de solo, a irrigação foi feita por aspersão e os tratamentos fitossanitários foram feitos segundo orientações específicas para a cultura (Filgueira, 2013). O desbaste foi feito aproximadamente 25 dias após o plantio e foram mantidas 8 plantas/metro nas parcelas em que esse procedimento foi necessário. Foram feitas duas capinas manuais, respectivamente, aos 17 e 35 dias após a semeadura. As duas colheitas também foram feitas manualmente aos 74 e 81 dias, respectivamente.



**Figura 1.** Área experimental seis dias após a semeadura do feijão-caupi, Campos dos Goytacazes – RJ, 2024.

### 3.1.2.3 Variáveis analisadas

Foram avaliados os seguintes caracteres agronômicos durante a realização do experimento:

- Número de plantas (NP): número de plantas no momento da colheita;
- Dias para florescimento (DF): número de dias desde a semeadura até o surgimento das primeiras flores na área útil da parcela, em dias;
- Tipo de planta: classificado em 1: Ereto, 2: Semiereto, 3: Semiprostrado e 4: Prostrado;
- Acamamento (Tabela 3);
- Arquitetura da planta (Tabela 4);
- Valor de cultivo (Tabela 5);
- Comprimento médio de vagem (CVag) seca: média do comprimento, em centímetros, medido em cinco vagens colhidas aleatoriamente na área útil da parcela;
- Peso médio de cinco vagens (PVag) secas: peso (massa) médio de vagens colhidas aleatoriamente na área útil da parcela, em gramas;
- Número médio de grãos por vagem (NG);
- Peso (massa) médio de 100 grãos (P100G): calculado com o uso da equação  $(PG5V \div NG5V) \times 100$ , em que  $PG5V$  = peso dos grãos de cinco vagens e  $NG5V$  = número dos grãos de cinco vagens;
- Índice de grãos (IG): índice calculado com a equação  $(PG5V \div PVag) \times 100$ , em %; e
- Produtividade (Prod): produtividade de grãos na área útil da parcela, em t/ha.

**Tabela 3.** Escala para leitura do Acamamento, realizada na maturidade das vagens, pouco antes da colheita

Escala	Acamamento
1	Nenhuma planta acamada ou com ramo principal quebrado
2	De 1 a 5% das plantas acamadas ou com o ramo principal quebrado
3	De 6 a 10% das plantas acamadas ou com o ramo principal quebrado
4	De 11 a 20% das plantas acamadas ou com o ramo principal quebrado
5	Acima de 20% das plantas acamadas ou com o ramo principal quebrado

**Tabela 4.** Escala para leitura da Arquitetura da Planta, realizada na maturidade das vagens, pouco antes da colheita

<b>Escala</b>	<b>Arquitetura da Planta</b>
1	Plantas mal conformadas, carregamento mal distribuído, parcela desuniforme
2	Plantas razoavelmente bem conformadas, carregamento razoavelmente bem distribuído, parcela um pouco uniforme
3	Plantas bem conformadas, carregamento bem distribuído, parcela uniforme
4	Plantas muito bem conformadas, carregamento muito bem distribuído, parcela muito uniforme
5	Plantas excelentemente conformadas, carregamento excelentemente distribuído, parcela excelentemente uniforme

**Tabela 5.** Escala para leitura do Valor de Cultivo, realizada no início da maturidade das vagens

<b>Escala</b>	<b>Valor de Cultivo</b>
1	Cultivar sem características apropriadas ao cultivo comercial
2	Cultivar com poucas características apropriadas ao cultivo comercial
3	Cultivar com boa parte das características adequadas ao cultivo comercial
4	Cultivar com a maioria das características adequadas para o cultivo comercial
5	Cultivar com praticamente todas as características adequadas para o cultivo comercial

### 3.1.3.4 Incidência de doença

Os genótipos foram avaliados quanto à resposta às doenças durante todo o período de condução do experimento. A avaliação foi feita visualmente na parte aérea das plantas, na área útil da parcela, com atribuição de notas conforme a tabela disponível no manual para ensaio de VCU da Embrapa Meio-Norte.

**Tabela 6.** Escala de notas para avaliação das principais doenças do feijão-caupi

<b>Nível</b>	<b>Severidade da Doença</b>
1	Ausência de Sintomas
2	Sintomas Leves
3	Sintomas Médios
4	Sintomas Severos
5	Sintomas Muito Severos

### **3.1.3.5 Análise de dados**

Os dados quantitativos foram submetidos aos testes de normalidade residual de Shapiro Wilk ( $p < 0,05$ ) e homogeneidade de variâncias de O'Neil e Mathews ( $p > 0,05$ ). Confirmadas as pressuposições, o efeito de cultivar foi estimado via teste F (Anova), seguido pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, em nível de significância de 5%. Tendo como referência as médias de cada cultivar, foi conduzida a análise de componentes principais via abordagem GTBiplot (genotype x trait), conforme proposta por Yan e Rajcan (2002).

Os dados qualitativos foram utilizados para o teste de agrupamento via estimativa de distância de Gower e método de ligação média entre grupos (UPGMA). A definição dos grupos de dissimilaridade foi estimada via método de Mojena. As análises foram conduzidas com auxílio do programa R, via funções disponíveis nos pacotes ExpDes.pt, ggplot2, factoextra e ecodist.

## **3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1.4.1 Análise do desempenho agronômico**

Os resultados das análises de variância incluem os valores e significâncias dos quadrados médios, além dos coeficientes de variação experimental, calculados com base nas médias dos tratamentos para as características avaliadas em Campos dos Goytacazes – RJ. Os dados são referentes a oito variáveis avaliadas (Tabela 7).

Analisando o quadro de ANOVA, verificou-se que todas as características estudadas apresentaram diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Esses resultados indicam que as cultivares mostraram comportamentos diferenciados em relação às variáveis analisadas. Os coeficientes de variação (CV), expressos em porcentagem, variaram de 2,12%, para o índice de grãos (IG), a 12,23%, para a produtividade (Prod), indicando boa precisão experimental.

**Tabela 7.** Análise de variância das médias do feijão-caupi em Campos dos Goytacazes – RJ, 2024

F.V.	GL	Quadrado Médio							
		DF	NP	PVag	CVag	NG	P100G	IG	Prod
Bloco	3	5,77	6,07	0,312	0,66	1,46	1,43	2,32	0,09
Cultivar	9	55,17 **	86,9**	6.214**	44,43**	38,32**	190,84**	44,62**	0,26 **
Resíduo	27	3,32	37,6	0,111	0,86	0,92	2,36	2,74	0,04
CV (%)		4,58	10,24	8,35	4,62	6,57	7,06	2,12	12,23
Média		39,75	59,9	3,99	20,07	14,6	21,77	78,08	1,73

\*\* indica efeitos significativos em nível de 1% de probabilidade de acordo com o teste F. DF – número de dias para florescimento; NP – número de plantas no momento da colheita; PVag – peso (massa) médio de vagens (g); CVag – comprimento médio de vagens (cm); NG – número médio de grãos por vagem; P100G – peso (massa) médio de 100 grãos (g); IG – índice de grãos: % de contribuição dos grãos para a massa das vagens; Prod – produtividade estimada em 1 hectare (ton ha<sup>-1</sup>).

O número de dias para florescimento (DF) apresentou média de 39,75 dias para os 10 genótipos de feijão-caupi (Tabela 7). Houve formação de 2 grupos de média (Tabela 8), 03 genótipos no grupo de maior média floresceram em torno de 44,9 dias e 7 genótipos, contidos no grupo de menor média, floresceram em aproximadamente 37,5 dias, sendo caracterizados como os mais precoces para esse caráter.

**Tabela 8.** Agrupamento de médias pelo algoritmo de Scott-Knott a 1% de probabilidade para variáveis quantitativas de cultivares de feijão-caupi em Campos dos Goytacazes – RJ, 2024

Cultivar	DF	NP	PVag	CVag	NG	P100G	IG	Prod
BRS Bené	38,0 b	55,5 b	4,7 b	21,6 b	14,9 b	25,9 b	81,8 a	1,82 b
BRS Exuberante	45,0 a	61,0 b	5,7 a	24,9 a	17,2 a	25,4 b	76,8 c	1,76 b
BRS Guirá	37,7 b	57,7 b	4,9 b	21,4 b	16,7 a	21,7 c	74,2 d	2,18 a
BRS Imponente	36,2 b	54,7 b	4,6 b	18,7 c	10,6 c	33,7 a	78,2 b	1,35 b
BRS Inhumana	38,2 b	57,7 b	4,8 b	21,3 b	17,2 a	22,7 c	81,1 a	2,09 a
BRS Natalina	46,2 a	66,2 a	1,5 e	13,2 d	16,6 a	07,4 e	81,1 a	1,61 b
BRS Olhonegro	36,5 b	60,2 b	2,6 d	17,7 c	9,7 c	20,8 c	78,9 b	1,64 b
BRS Rouxinol	43,5 a	69,0 a	4,0 c	23,7 a	16,5 a	17,8 d	73,2 d	1,49 b
BRS Utinga	37,0 b	60,7 b	3,2 d	18,3 c	10,4 c	25,1 b	81,5 a	1,67 b
BRS Verdejante	39,0 b	56,0 b	3,8 c	19,7 c	16,5 a	17,2 d	74,1 d	1,68 b

Letras iguais na coluna indicam médias pertencentes ao mesmo grupo de acordo com o algoritmo de Scott Knott em nível de significância de 1%. NP – número de plantas no momento da colheita; PVag – peso (massa) médio de vagens (g); CVag – comprimento médio de vagens (cm); NG – número médio de grãos por vagem; P100G – peso (massa) médio de 100 grãos (g); IG – índice de grãos: % de contribuição dos grãos para a massa das vagens; Prod – produtividade estimada em 1 hectare (ton ha<sup>-1</sup>).

Resultados semelhantes a esse não foram encontrados por Araújo (2019), quando avaliou 27 genótipos, e por Motta (2022), quando avaliou 03 genótipos de feijão-caupi também nas condições da região norte fluminense. A média de dias para floração foi de 54,39 dias e 48,58 dias, respectivamente, caracterizando esses genótipos como tardios quando suas médias são comparadas à média observada neste presente estudo (37,5 dias).

Tal fato pode estar associado às condições climáticas da estação no ano em que o experimento foi instalado, visto que o aparecimento das primeiras flores é significativamente afetado pelas condições ambientais, podendo, inclusive, oscilar entre o mesmo genótipo quando cultivado em circunstâncias climáticas distintas (Souza, 2016; Martins *et al.*, 2024).

Ainda sobre a característica DF, vale ressaltar que as cultivares que florescem mais cedo tendem a ter uma produção antecipada, resultando em um ciclo mais curto, o que pode ser vantajoso com relação à redução de custos ao produtor e para atender rapidamente às demandas do mercado consumidor. Por outro lado, o uso de cultivares de ciclo mais longo permite estender a oferta caso o mercado esteja saturado. Ademais, é possível combinar o plantio de uma cultivar precoce com outra tardia, permitindo um melhor planejamento da colheita (Sant'Anna *et al.*, 2020).

Para a característica número de plantas no momento da colheita (NP), foram formados dois grupos de médias (Tabela 8). Os genótipos que compuseram o grupo de maior média para essa característica foram BRS Natalina e BRS Rouxinol, com um stand que variou de 66,2 a 69,0 plantas por parcela, respectivamente (Tabela 6). Já o segundo grupo de média contendo os 08 genótipos restantes apresentou um stand de plantas por parcela que oscilou entre 54,7 (BRS Imponente) a 61,0 (BRS Exuberante), não diferindo estatisticamente entre si.

A expressão do potencial produtivo do feijão-caupi está associada à combinação favorável de diferentes fatores, entre os quais se destacam a densidade populacional, visto que altera significativamente as características morfofisiológicas, e ao número de vagens por planta ou área, componente basal da produção (Bezerra *et al.*, 2012; Monteiro *et al.*, 2017; Camara *et al.*, 2018; Bezerra *et al.*, 2009). Tal fato está de acordo com os dados encontrados nesse

estudo, uma vez que os genótipos com maior stand de plantas por parcela não apresentaram melhores resultados para a variável produtividade (Tabela 8).

Vale ressaltar que, para qualquer cultura, o conhecimento do arranjo populacional é necessário para que haja maximização econômica da produção. Ademais, a densidade ótima para o stand de plantas pode ser variável, pois depende das condições de solo, clima e hábito de crescimento da planta (Bezerra *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020). Desta forma, o conhecimento prévio sobre as condições da área e o manejo correto da cultura são fundamentais para que haja equilíbrio nos fatores de produção, permitindo alcançar uma produtividade ideal de grãos (Cardoso; Ribeiro, 2006).

Para a variável peso (massa) médio de vagens (PVag), expressa em gramas (g), foram formados cinco grupos de média. No primeiro grupo, apenas o genótipo BRS Exuberante apresentou melhor média (5,7). Já no segundo grupo, foram observadas boas médias em 04 genótipos, com peso médio de vagem variando de 4,6 (BRS Imponente) a 4,9 (BRS Guirá), sendo todos estatisticamente semelhantes. Em relação ao terceiro grupo, os dois genótipos alocados apresentaram os seguintes valores: 3,8 (BRS Verdejante) e 4,0 (BRS Rouxinol). Também com apenas 02 genótipos, os valores observados no quarto grupo foram 2,6 (BRS Olhonegro) e 3,2 (BRS Utinga). Para o quinto grupo, apenas o genótipo BRS Natalina recebeu menor média (1,5).

Santana *et al.* (2019), ao analisarem, nas condições de Pernambuco, características morfoagronômicas de 30 genótipos de feijão-caupi, incluindo BRS Rouxinol, obtiveram uma média geral de 5,25 g, acima da média encontrada nesse estudo (3,99 g). Já para as condições do sudoeste da Bahia, Públio Júnior *et al.* (2017), quando observaram as características agronômicas de 20 genótipos desta mesma cultura, encontraram uma média geral mais baixa (2,89 g). Tais resultados podem estar atrelados às condições climáticas e ambientais das regiões em que os respectivos estudos foram desenvolvidos.

Houve a formação de quatro grupos de média para a variável comprimento médio de vagens (CVag) (cm). As cultivares BRS Exuberante e BRS Rouxinol apresentaram as melhores médias, 24,9 e 23,7, respectivamente. BRS Bené (21,6), BRS Guirá (21,4) e BRS Inhuma (21,3) foram agrupadas no segundo grupo com melhor média. Quatro genótipos compuseram o terceiro grupo de maior média, com valores variando de 17,7 (BRS Olhonegro) e 19,7 (BRS

Verdejante), que não diferiram entre si estatisticamente. Para o quarto grupo, apenas BRS Natalina apresentou menor média (13,2).

Neste trabalho, a média para CVag foi de 20,07 cm, estando dentro dos padrões recomendados para cultivares comerciais (20 cm). Em seus estudos, Araújo (2019) obteve uma média diferente (15,52 cm) para a mesma variável quando analisou 27 linhagens de feijão-caupi nas condições da região norte fluminense. É válido destacar que essa característica é vantajosa para a colheita manual, visto que vagens maiores tendem a conter mais grãos (Silva; Neves, 2011).

Todavia, para colheitas semimecanizadas e mecanizadas, o tamanho das vagens e a quantidade de grãos por vagem são menos relevantes. Atualmente, nestes tipos de colheita, são preferidas vagens menores com menos grãos, que são mais leves, proporcionando melhor sustentação e diminuindo o risco de dobramento ou quebra do pedúnculo. Por serem mais leves, as vagens ficam menos propensas a tocar o solo, reduzindo o risco de perdas por apodrecimento (Silva; Neves, 2011; Públio Júnior *et al.*, 2017). Sendo assim, os genótipos com menor PVag, como BRS Olhonegro, BRS Utinga e BRS Natalina podem ser ideais para cultivos mecanizados nas condições da região norte fluminense, quando se leva em conta essa característica.

Em relação ao número médio de grãos por vagem (NG), 06 genótipos apresentaram a melhor média, tendo sido observados valores entre 16,5 (BRS Verdejante e BRS Rouxinol) a 17,2 (BRS Exuberante e BRS Inhumá), semelhantes entre si estatisticamente. Apenas o genótipo BRS Bené (14,9) foi alocado no grupo com segunda melhor média. Já no terceiro grupo de média, os genótipos BRS Imponente, BRS Utinga e BRS Olhonegro apresentaram os valores de 10,6; 10,4; e 9,7, respectivamente.

Resultados semelhantes a esses foram encontrados por Silva (2022) quando avaliou 10 cultivares de feijão-caupi no centro-norte capixaba. O autor observou média geral de 14,95, tendo a cultivar BRS Rouxinol apresentado média de 16,0 grãos por vagem. Entretanto, a cultivar BRS Imponente obteve média mais baixa (8,0). Nos estudos conduzidos por Pimenta *et al.* (2023), quando avaliaram quatro cultivares em Janaúba – MG, e por Araújo (2020), quando avaliou 20 linhagens no semiárido piauiense, foram encontradas médias mais

baixas, 12,15 e 7,78 grãos por vagens, respectivamente, ficando abaixo da média das cultivares nacionais (13,0).

Públio Júnior *et al.* (2017) relatam que componentes do rendimento, como número de grãos por vagem, comprimento de vagem e peso de 100 grãos, estão fortemente associados à produtividade de grãos. Contudo, esses caracteres frequentemente exibem instabilidade fenotípica e, em alguns casos, limitada variabilidade genética, o que evidencia sua forte dependência das condições ambientais. Nesse contexto, esses componentes se destacam como alguns dos mais sensíveis às variações ambientais, podendo comprometer a previsibilidade do rendimento em diferentes ambientes.

Quando analisado o peso médio de 100 grãos (P100G) (g), observou-se formação de cinco grupos de média. Para o primeiro grupo, apenas BRS Imponente apresentou melhor média (33,7). Quanto ao segundo grupo, três cultivares apresentaram médias de 25,1 (BRS Utinga), 25,4 (BRS Exuberante) e 25,9 (BRS Bené). Três cultivares também foram alocadas para o terceiro grupo, com médias de 20,8 (BRS Olhonegro), 21,7 (BRS Guirá) e 22,7 (BRS Inhumá). No quarto grupo, foram observadas apenas duas médias, 17,2 (BRS Verdejante) e 17,8 (BRS Rouxinol). Assim como no primeiro grupo, apenas uma cultivar foi agrupada no quinto grupo, a BRS Natalina, com média de 7,4.

Resultados próximos à média geral encontrada no presente trabalho (21,77 g), foram encontrados por Araújo (2020) e Pimenta *et al.* (2023), que em seus estudos observaram médias para a característica peso de 100 grãos em torno de 18,51 g e 20,0 g, respectivamente. Já Maciel (2024) e Araújo (2019) obtiveram médias maiores para essa característica, tendo encontrado valores de 23,91 e 25,01, respectivamente. Esse último autor sugere que a disponibilidade de água no solo para as plantas pode estar interligada com outros fatores, como a fertilidade do solo e o manejo cultural, promovendo um equilíbrio no desenvolvimento das plantas, o que, por sua vez, contribui para o enchimento dos grãos, resultando em maior produtividade (Araújo, 2019).

A variável P100G permite classificar os grãos em pequenos (<25 g), médios (entre 25 e 40 g) e grandes (> 40 g). O tamanho e a cor dos grãos são características valorizadas pelo mercado e fundamentais na definição do preço do produto. Sendo assim, não devem sofrer alterações significativas durante o processo de seleção, visto que há preferência por grãos com peso aproximado de

18 g por 100 unidades, em formato reniforme ou arredondado (Silva; Neves, 2011; Maciel, 2024). Isso posto, entende-se que BRS Rouxinol (17,8 g) e BRS Verdejante (17,2 g) apresentam um P100G muito próximo ao peso valorizado pelo mercado.

Para o índice de grãos (IG), que revela a porcentagem de contribuição dos grãos para a massa das vagens, foram formados quatro grupos de médias. As cultivares BRS Bené (81,8), BRS Utinga 81,5, BRS Inhuma (81,1) e BRS Natalina (81,1) foram reunidas no grupo de maior média, sendo todas estatisticamente semelhantes. Duas cultivares foram alocadas no segundo grupo, no qual foram observadas médias de 78,9 (BRS Olhonegro) e 78,2 (BRS Imponente). O terceiro grupo foi composto por apenas uma cultivar, BRS Exuberante, com média de 76,8. Por fim, três cultivares compuseram o quarto grupo, com médias de 74,2 (BRS Guirá), 74,1 (BRS Verdejante) e 73,2 (BRS Rouxinol).

Neste estudo, a média geral para a característica IG, foi de 78,08%. Alguns autores como Silva (2022), Barbosa *et al.* (2024) e Araújo *et al.* (2021) encontraram em seus respectivos trabalhos resultados semelhantes a esse. Silva (2022) encontrou média de 79,66% ao analisar 10 cultivares de feijão-caupi no centro-norte do Espírito Santo. Por sua vez, Barbosa *et al.* (2024) observaram médias variando entre 75,31 a 80,73% durante seus experimentos em Janaúba – MG com 12 genótipos dessa mesma cultura. Já Araújo *et al.* (2021) encontraram média de 75,57% em um estudo envolvendo 20 genótipos no semiárido do Piauí.

Garcia *et al.* (2024), para as condições de Fernandópolis – SP, observaram média inferior à que foi encontrada nesse trabalho. Os autores analisaram 20 genótipos de feijão-caupi e obtiveram média de 70,6% para o índice de grãos. O IG, calculado pela relação entre o peso do grão e o peso total da vagem, é um atributo crucial em cultivares voltadas para a produção de grãos verdes e/ou secos, pois avalia a eficiência da cultivar na alocação de fotoassimilados para os grãos. As cultivares que exibem maiores IG utilizaram grande parte de sua energia para a produção de grãos, não no armazenamento na casca (palha) (Garcia *et al.*, 2024; Silva, 2022; Barbosa, 2024). Sendo assim, as diferenças entre as médias de IG aqui observadas podem ter relação com a eficiência na alocação de fotoassimilados ou ainda com a influência das condições ambientais.

O melhoramento genético visa à obtenção de alto índice de grãos, o que demonstra maior proporção de grãos em relação à casca da vagem. Todavia,

esse índice não pode atingir 100%, pois resultaria em uma vagem excessivamente frágil, reduzindo a proteção dos grãos contra o ambiente, aumentando o risco de deiscência no campo. O intervalo ideal para o índice de grãos é entre 70% e 90% (Araújo *et al.*, 2021). Os resultados deste estudo revelam que todos os genótipos estão dentro dessa faixa, demonstrando proximidade com o ideótipo desejado para esse caráter.

Para a variável produtividade (Prod), houve formação de apenas dois grupos de médias. No grupo de maior média, apenas duas cultivares foram reunidas e as médias observadas foram de 2,18 (BRS Guirá) e 2,09 (BRS Inhuma). As médias observadas no segundo grupo, com sete cultivares, variaram de 1,35 (BRS Imponente) a 1,82 (BRS Bené), sendo todas estatisticamente semelhantes. Ainda que o segundo grupo tenha apresentado menor média, ela ainda foi mais significativa que a média de produtividade nacional para a terceira safra, a mais expressiva: 0,702 t/ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2024). Diversos autores de diferentes regiões brasileiras, incluindo a região norte fluminense, também observaram valores mais altos que a média nacional quando analisaram a produtividade de seus respectivos estudos (Campos *et al.*, 2023; Tomaz *et al.*, 2022; Araújo, 2019; Araújo, 2020; Motta, 2022; Silva, 2022).

Para alcançar altas produtividades e, conseqüentemente, avaliar as diferenças entre os genótipos, é fundamental compreender as condições ambientais favoráveis em todas as fases da planta - crescimento, formação e produção - além de considerar a eficiência das práticas culturais aplicadas ao desenvolvimento da cultura no campo. A implementação da irrigação, por exemplo, para garantir o aporte adequado de água ao longo de todo o ciclo, pode viabilizar a maximização do potencial produtivo do feijão-caupi (Araújo, 2019; Pimenta *et al.*, 2023).

Todavia, apesar de a produtividade ser um fator importante na recomendação de uma cultivar, ela não é a única a ser considerada. Ao selecionar uma cultivar, é essencial avaliar também a relação custo/benefício, levando em conta o preço das sementes, o rendimento, a eficácia da tecnologia no controle de pragas, a tolerância a doenças recorrentes na região e, claro, o nível tecnológico empregado pelo produtor na lavoura (Garcia *et al.*, 2024).

### 3.1.4.2 Análise biplot

O biplot de genótipo por caráter (GT) é construído pela plotagem dos escores do primeiro componente principal (PC1) em relação ao segundo (PC2), tanto para os genótipos quanto para os caracteres avaliados (Yan; Rajcan, 2002). Essa técnica, derivada da análise de componentes principais, permite interpretação simultânea de múltiplas variáveis e genótipos em uma análise integrada, robusta e precisa (Oliveira, 2019).

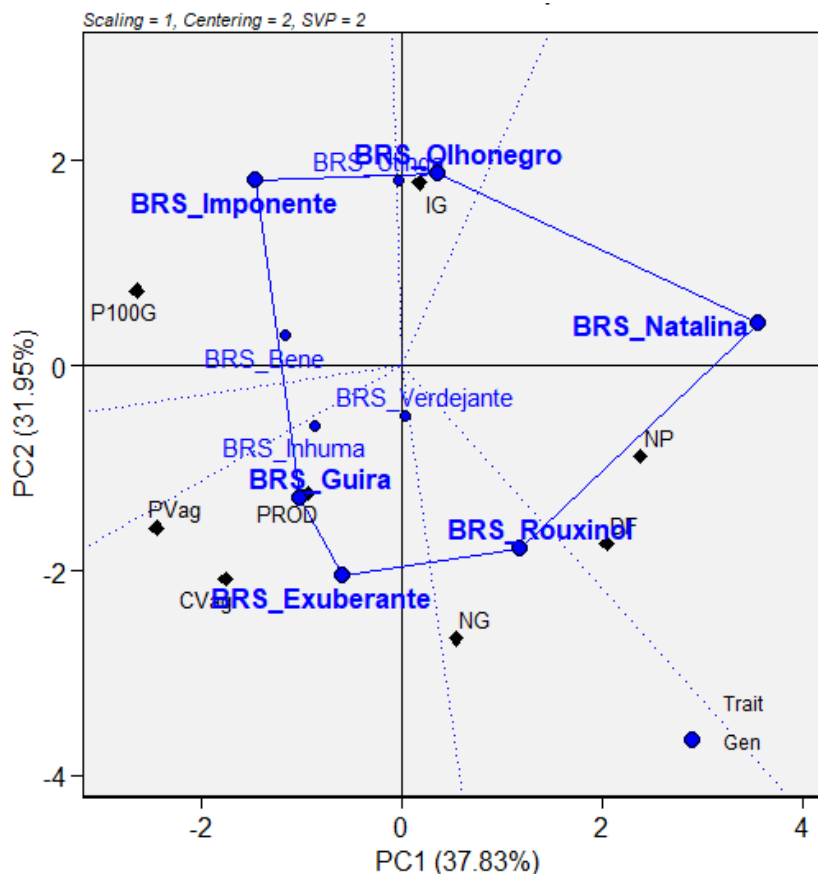
No GT biplot, um vetor é traçado da origem do gráfico até o marcador de cada variável, facilitando a visualização das relações entre elas. Desde que o biplot explique uma proporção representativa da variação total, o coeficiente de correlação ( $r$ ) entre dois caracteres pode ser estimado pelo cosseno do ângulo ( $\alpha$ ) formado entre seus vetores, em que  $r = \cos(\alpha)$ . Desta forma, ângulos próximos a  $0^\circ$  indicam correlação positiva perfeita ( $r = 1$ ), ângulos de  $180^\circ$  indicam correlação negativa perfeita ( $r = -1$ ) e ângulos de  $90^\circ$  sugerem independência entre as variáveis ( $r = 0$ ) (Yan; Rajcan, 2002).

- *Which-Won-Where*

Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) explicam, juntos, cerca de 69,8% da variância total dos dados (37,83% para o PC1 e 31,95% para o PC2). Estimativas de componentes principais que, juntos, explicam pelo menos 60% da variação total são consideradas adequadas para representar as inter-relações entre genótipos e caracteres por meio de representação gráfica. Essa magnitude indica uma boa síntese da variabilidade fenotípica, permitindo uma análise robusta da associação entre os genótipos e as variáveis analisadas (Oliveira, 2019; Yang *et al.*, 2009).

O gráfico *Which-Won-Where* do GT biplot (Figura 2) permitiu identificar padrões distintos de associação entre os genótipos e as características morfoagronômicas. Os genótipos posicionados nos vértices do polígono externo apresentaram desempenho proeminente para grupos específicos de caracteres, demonstrando especialização fenotípica entre as cultivares. A BRS Natalina destacou-se para número de plantas (NP), enquanto a BRS Rouxinol apresentou maior associação com o número de grãos (NG). Já a BRS Exuberante foi superior

para comprimento de vagem (CVag), ao passo que a BRS Imponente se associou fortemente ao peso de cem grãos (P100G).



**Figura 2.** “Which-Won-Where” da classificação de dez genótipos de feijão-caupi em relação às características número de dias para o florescimento (DF), número de plantas (NP), peso de vagem (PVag), comprimento de vagem (CVag), número de grãos (NG), peso de cem grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade (PROD), avaliados em 2024.

Por outro lado, os genótipos localizados próximos à origem dos eixos, como a BRS Verdejante e a BRS Bené, apresentaram desempenho fenotípico mais equilibrado para o conjunto de variáveis avaliadas. Além do mais, a sobreposição observada entre BRS Olhonegro e BRS Utinga sugere alta similaridade fenotípica, com associação comum ao índice de grãos (IG), indicando possível redundância desses genótipos no contexto das condições ambientais de Campos dos Goytacazes.

No que se refere especificamente aos componentes de rendimento, como produtividade (PROD), número de grãos (NG) e peso de cem grãos (P100G),

observou-se formação de padrões contrastantes de associação entre os genótipos avaliados. Essas características são largamente reconhecidas como essenciais para o desempenho produtivo na cultura do feijão-caupi e, ao serem analisadas de forma conjunta, permitem compreender diferentes estratégias fenotípicas de alocação de recursos produtivos (Zilio *et al.*, 2011; Santana *et al.*, 2019).

No presente estudo, esse contraste estratégico ficou evidente na oposição entre a BRS Imponente, associada à maior massa individual de grãos (P100G), e a BRS Rouxinol, que exibiu maior contribuição relativa do número de grãos (NG) (Freire Filho, 2011; Gerrano *et al.*, 2015). A superioridade da BRS Imponente para P100G (33,7g) (Tabela 8) destaca-se por posicioná-la como o único genótipo pertencente ao grupo “a” para essa característica, mostrando sua especialização fenotípica.

Essa associação de diferentes cultivares com componentes específicos do rendimento indica que o desempenho produtivo pode ser alcançado por distintas combinações de características, comportamento frequentemente descrito em estudos de caracterização do feijão-caupi (Bertini *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2019). No contexto da análise multivariada, observa-se que características relacionadas à morfologia da vagem, como comprimento (CVag) e peso de vagem (PVag), apresentaram padrões específicos de associação com determinados genótipos. Destaca-se, nesse sentido, a cultivar BRS Exuberante, posicionada no setor correspondente ao comprimento de vagem no biplot, indicando sua superioridade relativa para esse caráter.

A importância desses descritores morfológicos na diferenciação de genótipos de feijão-caupi é reconhecida em estudos de caracterização morfoagronômica, ainda que nem sempre estejam diretamente associados a maiores médias de produtividade (Sant’Anna *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2023).

Com relação às características fenológicas, a separação observada no biplot sugere diferenças significativas no ciclo de desenvolvimento entre os genótipos. A BRS Imponente apresentou comportamento mais tardio, liderando o grupo “a” para a variável dias para o florescimento (48,0 dias) (Tabela 8), confirmando sua posição diferenciada em relação aos demais genótipos no gráfico. Por outro lado, a precocidade exibida por BRS Rouxinol e BRS Natalina demonstra uma estratégia de desenvolvimento acelerado, característica que pode

atuar como um mecanismo de escape a estresses tardios (Freire Filho, 2011; Gerrano *et al.*, 2015).

No que se refere às características de estabelecimento, foi possível observar que os genótipos responderam de forma diversa às condições locais de Campos dos Goytacazes. A BRS Natalina apresentou alta capacidade de manutenção do estande, exibindo valor proeminente para número de plantas (66,2) (Tabela 8), acompanhada pela BRS Rouxinol. Tal desempenho indica maior adaptabilidade e rusticidade desses genótipos frente às condições edafoclimáticas do período experimental. Essas características, ainda que sensíveis às variações ambientais, têm alto valor discriminatório em avaliações regionais, sendo importantes para assegurar o potencial produtivo da lavoura (Bezerra *et al.*, 2009; Públio Junior *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2020).

O índice de grãos (IG), por sua vez, mostrou associação com um grupo restrito de genótipos, com destaque para a BRS Utinga, que integrou o grupo superior pelo teste de médias, e comportamento fenotípico semelhante observado para a BRS Olhonegro, de acordo com o indicado por sua proximidade no espaço multivariado do GT biplot. Tal padrão indica maior eficiência na conversão da biomassa da vagem em grãos, caracterizando o IG como indicador complementar da eficiência de produção de grãos. A importância dessa característica está relacionada à sua contribuição na composição do rendimento final, visto que diferentes genótipos podem apresentar distintas estratégias de alocação de recursos reprodutivos, conforme abordado por Zilio *et al.* (2011). Dessa forma, o IG vem sendo relatado como útil na identificação de genótipos com desempenho mais equilibrado em ambientes específicos (Araújo *et al.*, 2021; Sant'Anna *et al.*, 2020).

Adicionalmente, a análise *Which-Won-Where* demonstrou que os genótipos apresentaram associações distintas com diferentes grupos de características morfoagronômicas, sugerindo a existência de relações de compensação entre os componentes de rendimento e atributos morfológicos. Entretanto, esse tipo de gráfico não permite avaliar diretamente o poder discriminatório individual das variáveis nem o grau de associação entre elas, sendo necessária a utilização de outras abordagens do GT biplot para aprofundar a interpretação dos resultados.

- *Discriminação vs. representatividade*



de vagem e grão em estudos de divergência é frequentemente relatado em feijão-caupi por serem características de alta herdabilidade (Torres *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2019). A forte associação da BRS Imponente com o vetor P100G confirma os resultados médios observados (Tabela 8), tendo este genótipo se destacado de forma isolada com a maior massa de grãos (33,7 g). Tal comportamento é característico de linhagens modernas destinadas ao mercado de grãos especiais (Freire Filho, 2011). De modo similar, a proximidade da BRS Exuberante ao vetor CVag reflete sua superioridade para comprimento de vagem (24,9 cm), característica morfológica determinante para aceitação comercial da cultura (Gerrano *et al.*, 2015).

As variáveis que consideram os dias até o florescimento (DF) e número de plantas (NP) apresentaram forte correlação positiva, evidenciada pelo ângulo agudo entre seus vetores no biplot. Esse comportamento indica que os genótipos que melhor mantiveram o estande de plantas, BRS Natalina e BRS Rouxinol, também apresentaram um ciclo mais longo até o florescimento. É válido lembrar que uma maior densidade de plantas (NP) pode gerar uma competição intraespecífica por recursos como água, luz e nutrientes, impactando tanto a produtividade de grãos quanto os fatores que contribuem para esse rendimento (Deretti *et al.*, 2022). No presente estudo, essa associação positiva entre DF e NP sugere que o estabelecimento pleno do estande esteve ligado a genótipos menos precoces, o que pode se refletir numa estratégia de maior investimento em biomassa vegetativa antes da transição reprodutiva.

Por outro lado, há uma vertente que considera que o aumento da densidade de plantas de feijão-caupi pode melhorar tanto a interceptação da radiação solar quanto a eficiência de seu uso. Desta forma, a porcentagem de luz interceptada e o índice de área foliar do feijão-caupi são influenciados positivamente por essa densidade (Cardoso *et al.*, 2018). Entretanto, há necessidade de mais estudos para que se possa verificar em quais ambientes e sob quais manejos, métodos, assim, podem, de fato, ser aplicados a fim de maximizar o rendimento sem que a competição intraespecífica se torne um fator limitante.

As variáveis PROD, CVag e PVag apresentaram forte correlação positiva entre si, evidenciada pelos ângulos agudos entre seus vetores, indicando que o rendimento de grãos foi favorecido pelo aumento nas dimensões e massa das

vagens. Todavia, observou-se um ângulo obtuso entre os vetores P100G e NG, revelando um antagonismo entre o peso individual do grão e o número de grãos por vagem. Essa relação de compensação fica nítida ao observar que a BRS Imponente maximiza a massa unitária do grão (33,7 g) em detrimento do número de grãos por vagem (10,6), situando-se em quadrante oposto aos genótipos que priorizam o número de grãos, como a BRS Verdejante e a BRS Guirá.

Contudo, é válido destacar que rendimento de grãos é um caráter complexo, resultante da expressão e associação de diferentes componentes, sendo influenciado por quase todas as demais características da planta. Ademais, o estudo de correlações via Biplot, embora visualmente elucidativo, não possibilita conclusões sobre relações de causa e efeito, sendo a correlação apenas uma medida de associação (Souza *et al.*, 2014). Essa complexidade justifica as variações observadas entre os genótipos, em que diferentes caminhos morfológicos foram trilhados para a obtenção do desempenho agrônômico final.

A análise detalhada do biplot revela agrupamentos específicos que definem as estratégias produtivas das cultivares. No quadrante superior, as cultivares BRS Imponente e BRS Bené mostram maior afinidade com o vetor P100G, destacando-se pelo investimento na massa individual dos grãos. Já a BRS Utinga, embora tenha grãos pesados, exibe uma proximidade ainda estreita com o vetor IG (índice de Grãos), o que, juntamente com a BRS Olhonegro, posiciona-as como genótipos com determinada eficiência na translocação de fotoassimilados para os grãos dentro da vagem. Por outro lado, a BRS Guirá e a BRS Inhuma consolidam-se no quadrante oposto, fortemente associadas ao vetor PROD, indicando que seu rendimento é resultado de uma arquitetura baseada no volume de produção.

Essa divergência de estratégias acontece porque os componentes do rendimento são determinados pelo genótipo e sofrem influência tanto das condições ambientais durante o ciclo da cultura quanto pelas práticas de fitotecnia aplicadas no manejo da lavoura e pelo nível tecnológico adotado pelo produtor. Conforme destacam Zilio *et al.* (2011), sob certas condições, alguns componentes da produção podem aumentar enquanto outros diminuem, um mecanismo fisiológico que favorece a manutenção da estabilidade produtiva. Tais fatos confirmam as diferenças observadas no comportamento dos genótipos deste trabalho, demonstrando a estabilidade do rendimento de grãos no Norte

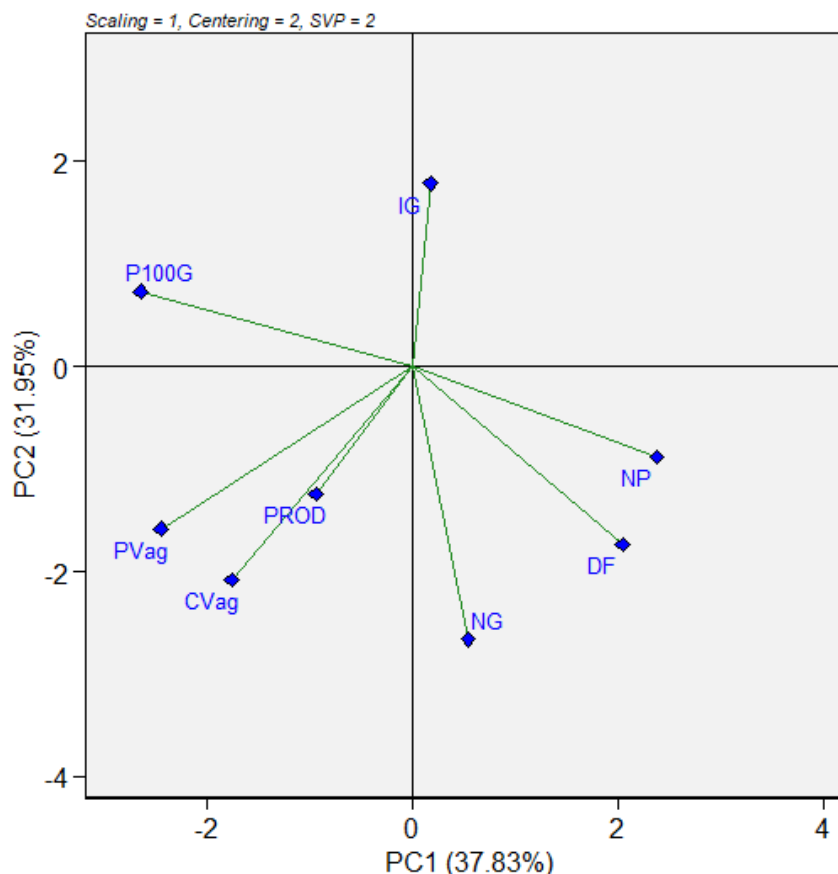
Fluminense por diferentes caminhos morfológicos, a depender da constituição genética de cada cultivar.

A cultivar BRS Natalina posicionou-se de forma afastada dos vetores que representam os componentes diretos de rendimento de grãos e de vagem. Tal fato indica que seu perfil agrônomo pode não se fundamentar na máxima expressão de características morfoagronômicas individuais de destaque, como o peso médio de cem grãos, que é reduzido e se situa em torno de 7,7 g (Carvalho *et al.*, 2022). Entretanto, esse posicionamento isolado e sua proximidade com o vetor NP sugerem que a cultivar utiliza uma estratégia baseada na manutenção de um estande populacional elevado (66,2) para assegurar produtividade final. Portanto, ainda que não apresente grãos de grande tamanho, seu perfil pode ser vantajoso em sistemas que priorizam a resiliência do estande ou em nichos de mercado que demandam grãos miúdos, como o de exportação para conservas.

Dessa forma, a disposição das cultivares no biplot reflete não apenas o desempenho produtivo isolado, mas a forma como cada material interage com as variáveis morfoagronômicas medidas sob as condições do Norte Fluminense. Compreendida a distribuição dos genótipos e suas diferentes estratégias de adaptação, torna-se fundamental detalhar a magnitude das associações entre essas variáveis. A seguir, a análise das relações entre as características permitirá identificar quais componentes atuam como os principais determinantes do rendimento e como o equilíbrio entre eles define o perfil produtivo das cultivares avaliadas.

- *Relação entre as Características*

A análise da relação entre as características morfoagronômicas por meio do GT biplot (Figura 4) permitiu avaliar o grau de associação existente entre as variáveis estudadas. Nesse tipo de representação, o ângulo formado entre os vetores indica a correlação entre os caracteres, sendo ângulos agudos associados a correlações positivas, ângulos próximos a 90° indicativos de ausência de correlação e ângulos obtusos relacionados a correlações negativas. Além disso, o comprimento dos vetores reflete a magnitude da contribuição de cada variável para a variabilidade total explicada pelos componentes principais (Yan & Rajcan, 2002; Cruz, 2021).



**Figura 4.** “Relação entre as características” de dez genótipos de feijão-caupi em relação às variáveis número de dias para o florescimento (DF), número de plantas (NP), peso de vagem (PVag), comprimento de vagem (CVag), número de grãos (NG), peso de cem grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade (PROD), avaliados em 2024.

Verificou-se correlação positiva entre produtividade (PROD) e características associadas à morfologia da vagem, como peso de vagem (PVag) e comprimento de vagem (CVag), demonstrada pela proximidade dos ângulos entre os vetores. Esse padrão sugere que genótipos com vagens mais longas e mais pesadas tendem a apresentar maior rendimento, indicando que esses descritores morfoagronômicos contribuem de forma indireta para o desempenho produtivo do feijão-caupi. Resultados semelhantes têm sido reportados em estudos de caracterização morfoagronômica da cultura, nos quais atributos da vagem apresentaram associação positiva com a produtividade de grãos (Bertini *et al.*, 2010; Zilio *et al.*, 2011; Santana *et al.*, 2019).

Por outro lado, verificou-se orientação contrastante entre os vetores de número de grãos por vagem (NG) e peso de cem grãos (P100G), indicando correlação negativa entre esses componentes do rendimento. Esse comportamento sugere a existência de diferentes estratégias fenotípicas de alocação de recursos reprodutivos,

em que genótipos podem priorizar o aumento do número de grãos ou a maior massa individual dos grãos, mas dificilmente maximizam ambos simultaneamente. Esse padrão é recorrente em espécies de grãos e já foi descrito para o feijão-caupi e outras leguminosas, reforçando o caráter compensatório entre os componentes do rendimento (Zilio *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2014).

O índice de grãos (IG) apresentou orientação relativamente independente em relação à maioria das demais variáveis, formando ângulos próximos a 90° com os componentes clássicos do rendimento. Esse posicionamento indica baixa associação direta com produtividade, número de grãos ou peso de grãos, sugerindo que o IG expressa um aspecto específico da eficiência de produção de grãos, relacionado à proporção de grãos na massa total da vagem. Assim, o IG pode ser considerado um indicador complementar, útil para identificar genótipos com maior eficiência de produção de grãos em ambientes específicos, ainda que não esteja necessariamente associado às maiores produtividades absolutas (Sant'Anna *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2021).

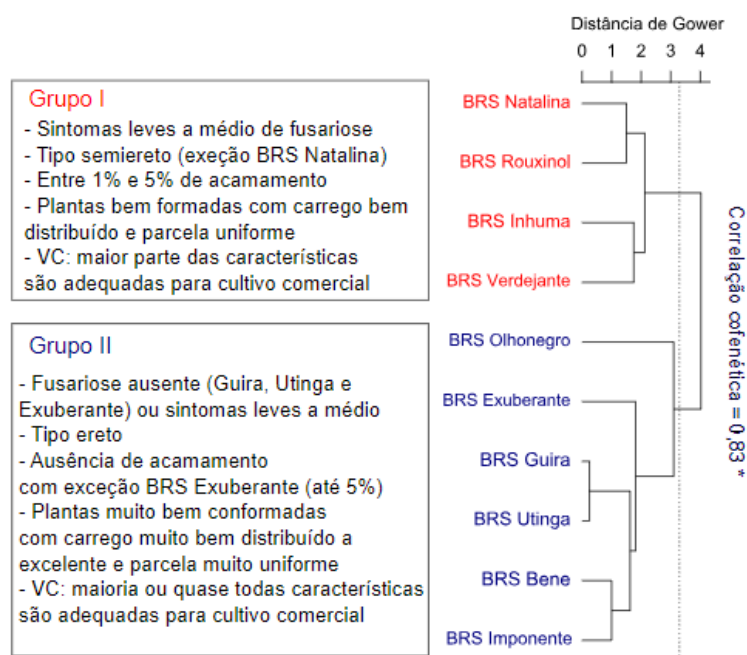
Com relação às características fenológicas e de estabelecimento, foi possível observar correlação positiva entre número de plantas (NP) e dias para o florescimento (DF). Esse comportamento sugere que alterações no estande podem ter influência no ciclo fenológico da cultura, possivelmente em função da competição intraespecífica por recursos como água, luz e nutrientes. Todavia, a orientação desses vetores em sentido oposto aos componentes associados ao rendimento indica correlação negativa entre estabelecimento/ciclo e produtividade, padrão já descrito em estudos que avaliam o efeito da densidade de plantas e do desenvolvimento fenológico sobre o desempenho produtivo do feijão-caupi (Bezerra *et al.*, 2009; Cardoso *et al.*, 2018; Deretti *et al.*, 2022).

Por fim, o biplot de relação entre as características evidenciou que o rendimento de grãos em feijão-caupi resulta de uma interação complexa entre múltiplos componentes morfoagronômicos, que podem apresentar associações positivas, negativas ou até mesmo independentes entre si. A abordagem multivariada permitiu visualizar essas inter-relações de forma integrada, reforçando a importância da avaliação conjunta de caracteres na caracterização fenotípica e na seleção de genótipos, especialmente em estudos conduzidos em ambiente único.

### 3.1.4.3 Agrupamento UPGMA

O método da ligação média entre grupos (UPGMA) é um método de agrupamento hierárquico, aglomerativo, muito utilizado em estudos de diversidade, pois considera as médias aritméticas das medidas de distâncias genéticas, o que evita caracterizar a dissimilaridade por valores extremos entre os indivíduos considerados (Cruz e Carneiro, 2006).

A Figura 5 mostra o dendrograma representando a dissimilaridade entre os 10 genótipos de feijão-caupi obtido pelo método de agrupamento UPGMA, com base na distância de Gower. O ponto de corte foi feito a uma distância de 3,2 unidades, o que corresponde a aproximadamente 80% da distância máxima (na matriz de distâncias gráficas), e a interpretação dos grupos foi feita com base nesse ponto de corte. Tendo como referência o exame visual, foi possível verificar a formação de dois grupos principais que separam os genótipos por perfis fitotécnicos e de sanidade.



\* Indica valor de coeficiente de correlação cofenética (representatividade do dendrograma para o conjunto de caracteres) estatisticamente diferente de zero, portanto, significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste t.

**Figura 5.** Análise de agrupamento (dissimilaridade de Gower via método UPGMA) para caracteres qualitativos avaliados em 10 cultivares de feijão-caupi nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, 2024.

O Grupo I, formado por quatro cultivares (BRS Natalina, BRS Rouxinol, BRS Inhuma e BRS Verdejante), caracterizou-se pela presença de sintomas leves a médios de fusariose, indicando que há susceptibilidade à doença, o que pode causar impacto na produtividade em áreas com maior incidência de *Fusarium*. A taxa de acamamento oscilou entre 1 e 5%, indicando propensão a essa característica, o que pode prejudicar a colheita mecanizada e a circulação de ar entre as plantas, favorecendo o aparecimento de doenças. As plantas apresentaram boa conformação e a carga foi bem distribuída, indicando que houve produção relativamente homogênea dentro das parcelas (Florencio, 2017).

Em relação ao Grupo II, formado por 6 indivíduos que demonstraram maior superioridade qualitativa, observou-se que três cultivares não apresentaram sintomas de fusariose, o que pode indicar maior nível de resistência a esta doença. A predominância do hábito de crescimento ereto, aliada à quase nulidade de acamamento e à excelente conformação da planta, posiciona este grupo como o mais apto para o cultivo comercial tecnificado. A excelente distribuição de carga observada demonstra certo potencial de rendimento mais homogêneo e estável.

O dendrograma em questão representa a classificação de diferentes cultivares de feijão-caupi com base em suas características fenotípicas, incluindo resistência à fusariose, tipo de crescimento, porcentagem de acamamento e conformação da planta. Esses parâmetros são importantes para a escolha de cultivares adequadas ao cultivo comercial.

Análises multivariadas de agrupamento, como UPGMA, têm grande aplicabilidade nas etapas iniciais de programas de melhoramento de plantas, visto auxiliarem na organização e interpretação da variabilidade fenotípica disponível. Esse tipo de abordagem fornece subsídios importantes para a identificação de genótipos contrastantes e para a definição de estratégias de seleção, cooperando, assim, para a escolha de materiais com potencial complementar para características de interesse, como tolerância a doenças e adaptação agrônômica (Cruz & Carneiro, 2006).

Assim, ainda que os agrupamentos observados reflitam a expressão fenotípica dos genótipos nas condições avaliadas, os resultados obtidos constituem uma base informativa relevante para orientar etapas subsequentes de seleção e para apoiar decisões em programas de melhoramento do feijão-caupi,

especialmente no que se refere à incorporação de características agronômicas desejáveis.

### **3.1.5 CONCLUSÕES**

As cultivares de feijão-caupi apresentaram variabilidade significativa para os caracteres agronômicos avaliados, incluindo diferenças no ciclo de cultivo, com destaque para BRS Guirá e BRS Imponente como precoces e BRS Exuberante como mais tardia. A análise GT biplot evidenciou associações entre características e permitiu identificar cultivares com desempenho superior, destacando-se BRS Guirá e BRS Inhuma pela maior associação com a produtividade nas condições da região Norte Fluminense.

A análise de agrupamento via UPGMA permitiu a formação de dois grupos distintos: um caracterizado por maior suscetibilidade à fusariose e maior acamamento e outro por maior resistência à doença e por características favoráveis à colheita mecanizada.

Os resultados reforçam a importância da avaliação regionalizada, uma vez que o desempenho das cultivares é influenciado pela interação entre genótipo e ambiente, sendo fundamental a seleção de materiais adaptados às condições locais.

## **3.2 DESEMPENHO MORFOAGRONÔMICO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-VAGEM (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVADAS NO BRASIL E EM PORTUGAL**

### **3.2.1 INTRODUÇÃO**

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) constitui um grupo especial dentro dos feijoeiros cultivados, sendo caracterizado pelo consumo de suas vagens ainda imaturas, que apresentam baixo teor de fibras e mesocarpo suculento, podendo ser destinadas tanto ao consumo in natura quanto ao processamento industrial (Trani *et al.*, 2015; Peixoto & Cardoso, 2016; Vaz *et al.*, 2017). Em função dessas características, o feijão-vagem é classificado como uma hortaliça, ocupando posição de destaque entre as leguminosas cultivadas em diferentes sistemas produtivos ao redor do mundo (Goulart *et al.*, 2022; Pavlovic *et al.*, 2025).

No Brasil, o feijão-vagem figura entre as principais hortaliças produzidas, com expressiva participação da agricultura familiar e ampla utilização em sistemas de cultivo em campo aberto e em ambientes protegidos. A produção concentra-se majoritariamente na região Sudeste, com destaque para os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, seguida pela região Sul do país (Peixoto *et al.*, 2002; Peixoto & Cardoso, 2016). Além de sua relevância econômica, a cultura apresenta importância social, por demandar mão de obra intensiva e possibilitar a diversificação da produção agrícola, especialmente em períodos de entressafra de outras olerícolas (Jaeggi, 2021).

Em Portugal, o feijão integra o grupo das leguminosas tradicionalmente consumidas no âmbito da dieta mediterrânica, reconhecida como Património Cultural Imaterial da Humanidade pela UNESCO. Nesse contexto alimentar, tanto o feijão-vagem (feijão-verde) quanto o feijão seco assumem relevância na composição de preparações típicas, refletindo sua importância cultural e nutricional (Rodrigues, 2022).

A produção de feijão-vagem no país ocorre predominantemente sob cultivo protegido, especialmente em estufas, característica associada às condições climáticas mediterrânicas e à sazonalidade da produção (Ferreira, 2015; Lopes, 2020). Essas particularidades de manejo e ambiente se diferenciam das condições tropicais brasileiras, podendo influenciar o crescimento, o desenvolvimento e a expressão de caracteres morfoagronômicos da cultura.

A espécie *Phaseolus vulgaris* L. é originária das Américas e apresenta ampla diversidade genética em razão de seu processo de domesticação (Singh, 2005). Essa diversidade se tornou a base da variabilidade fenotípica observada entre genótipos, o que reflete em diferenças quanto ao hábito de crescimento, arquitetura de planta, características das vagens e desempenho produtivo. No caso do feijão-vagem, diferenças morfoagronômicas em relação ao feijão-comum estão associadas, principalmente, à seleção de características relacionadas à qualidade das vagens, como comprimento, espessura, coloração e teor de fibras (Mariguele *et al.*, 2008; Abranches *et al.*, 2022).

A avaliação do desempenho morfoagronômico e da variabilidade fenotípica de genótipos de feijão-vagem é fundamental para compreender o comportamento da cultura sob diferentes condições de cultivo. Características fenológicas, morfológicas e produtivas podem apresentar respostas distintas em função do ambiente, do manejo adotado e do material genético utilizado, evidenciando a plasticidade fenotípica da espécie (Sant'Anna *et al.*, 2019; Pereira, 2023). Nesse contexto, estudos comparativos conduzidos em ambientes contrastantes permitem ampliar o entendimento sobre a expressão fenotípica dos genótipos, contribuindo para a caracterização agrônômica da cultura.

Diante disso, este capítulo teve como objetivo analisar, de forma descritiva e comparativa, o desempenho morfoagronômico de linhagens de feijão-vagem cultivadas em ambientes distintos, no Brasil e em Portugal, buscando evidenciar diferenças na expressão de características associadas às condições

edafoclimáticas e aos sistemas de cultivo adotados em cada local. Essa abordagem visa a contribuir para a compreensão do comportamento fenotípico do feijão-vagem em contextos ambientais contrastantes, sem a aplicação de modelos estatísticos formais de interação entre genótipos e ambientes.

### 3.2.2 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.2.2.1 Caracterização botânica e variabilidade do feijão-vagem

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.), assim como o feijão-comum, pertence à família Fabaceae, sendo classificado na mesma espécie botânica, caracterizando-se como planta anual, com ciclo de 60 a 70 dias, herbácea e predominantemente autógama. A espécie é originária das Américas e passou por dois eventos independentes de domesticação, ocorridos na Mesoamérica e nos Andes, originando dois grandes pools gênicos (Singh, 2005; Grigolo & Fioreze, 2018).

Após sua introdução no continente europeu no século XVI, a Península Ibérica se tornou uma importante região de disseminação do germoplasma americano, sendo considerada centro secundário da diversificação da espécie na Europa (Santalla *et al.*, 2002; Nicoletto *et al.*, 2019). Esse processo contribuiu para a ampliação da base genética e para a expressiva variabilidade morfoagronômica observada nos diferentes grupos cultivados (Pinheiro *et al.*, 2010; Frascarelli *et al.*, 2025).

O gênero *Phaseolus* abrange cerca de 55 espécies, das quais cinco são cultivadas, sendo *P. vulgaris* a de maior importância agronômica. Trata-se de uma espécie diploide ( $2n = 2x = 22$ ) e predominantemente autógama, característica associada à morfologia floral que favorece a autopolinização. Embora ocorram baixos índices de fecundação cruzada, a autogamia predominante contribui para a manutenção da estabilidade genética das linhagens, aspecto importante para estudos de caracterização morfoagronômica (Singh, 2005; Peixoto & Cardoso, 2016; Rendón-Anaya *et al.*, 2017).

As diferenças entre feijão-vagem e feijão-comum estão relacionadas principalmente ao estágio de consumo e às características das vagens. No feijão-vagem, as vagens são colhidas ainda imaturas, apresentando baixo teor de fibras e mesocarpo suculento, características selecionadas ao longo do processo de domesticação e melhoramento (Oliveira, 2015; Trani *et al.*, 2015). A seleção histórica, intensificada na Europa a partir do século XVI, favoreceu mutações associadas à qualidade da vagem, como textura, comprimento e espessura, diferenciando esse grupo do feijão destinado à produção de grãos secos (Santalla *et al.*, 2002; Mariguele *et al.*, 2008; Peixoto & Cardoso, 2016).

Atualmente, o feijão-vagem é cultivado em diferentes regiões do mundo, integrando sistemas hortícolas tanto em países de clima tropical quanto temperado. No Brasil, destaca-se como hortaliça de relevância para a agricultura familiar, sendo cultivado em campo aberto e sob cultivo protegido, especialmente nas regiões Sudeste e Sul (Andrade *et al.*, 2017; Abranches *et al.*, 2022). Em Portugal, a cultura integra sistemas hortícolas sob condições de clima mediterrânico, frequentemente associada ao cultivo protegido, particularmente em estufas (Ferreira, 2015), contexto que impõe condições ambientais distintas daquelas observadas nas regiões tropicais.

Essa diversidade de contextos produtivos ressalta a plasticidade da cultura, em que a expressão fenotípica é influenciada pela interação entre o potencial genético e as variáveis edafoclimáticas locais.

### **3.2.2.2 Características morfoagronômicas de interesse no feijão-vagem**

A avaliação de caracteres morfoagronômicos no feijão-vagem constitui etapa fundamental para a caracterização de genótipos e compreensão do comportamento da cultura em diferentes condições de cultivo. Em função de seu destino como hortaliça, os atributos avaliados abrangem tanto características relacionadas à arquitetura da planta quanto aquelas associadas às vagens e ao desempenho produtivo (Loko *et al.*, 2018; Artega *et al.*, 2019).

Entre os caracteres morfológicos da planta, destacam-se o hábito de crescimento, a arquitetura, o vigor vegetativo e a altura de inserção das primeiras vagens. O feijão-vagem pode apresentar hábito determinado ou indeterminado, este último frequentemente associado ao cultivo tutorado e à produção

escalonada (IPGRI, 2001; Vidal *et al.*, 2007). A arquitetura da planta influencia diretamente a interceptação luminosa, a aeração do dossel e a facilidade de colheita, além de estar relacionada ao desempenho produtivo (Ferreira, 2015). A variabilidade nesses caracteres é amplamente observada entre genótipos, refletindo tanto a diversidade genética da espécie quanto o processo histórico de seleção (Pereira, 2023).

No que se refere às características das vagens, atributos como comprimento, diâmetro, formato, coloração e textura assumem papel central na avaliação morfoagronômica. A coloração e o formato das vagens estão associados à preferência do consumidor e influenciam a aceitação comercial (Peixoto & Cardoso, 2016). A presença de baixo teor de fibras e a textura macia constituem características distintivas do feijão-vagem em relação ao feijão-comum, destinado à produção de grãos secos (Mariguele *et al.*, 2008). Essas características derivam de processos de seleção que privilegiaram a qualidade da vagem ao longo da domesticação e do melhoramento (Hora *et al.*, 2018).

Os caracteres fenológicos, como o número de dias para o florescimento e o ciclo total, complementam a caracterização ao determinar a precocidade e o período de disponibilidade do produto para o mercado. Tais variáveis são sensíveis às oscilações térmicas e ao fotoperíodo, fatores que podem promover comportamentos contrastantes em genótipos cultivados em diferentes latitudes (Filgueira, 2013; Gomes *et al.*, 2016).

Em relação aos caracteres produtivos e de qualidade, o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem, aliados ao comprimento da vagem, configuram-se como os principais determinantes do desempenho da cultura. A expressão desses atributos, bem como do peso de cem grãos (P100G), resulta da eficiência fisiológica da planta em converter recursos ambientais em biomassa, variando entre materiais genéticos e sistemas de manejo (Ramos Junior *et al.*, 2005; Jaeggi, 2021).

Assim, a análise descritiva desses componentes permite identificar padrões de comportamento fenotípico, fundamentais para a compreensão do desempenho da cultura em contextos ambientais distintos, como as condições tropicais brasileiras e mediterrânicas portuguesas.

### 3.2.2.3 Variabilidade fenotípica e avaliação de genótipos

A expressão das características de uma planta é resultado da influência do componente genético somado às condições do ambiente em que se desenvolve. Esse fenômeno, frequentemente discutido no âmbito da plasticidade fenotípica, permite que uma mesma linhagem apresente variações morfológicas, fenológicas e produtivas quando colocada em diferentes condições ambientais, como diferenças de temperatura, radiação solar, disponibilidade hídrica e manejo cultural (Borém & Miranda, 2005; Ambika *et al.*, 2022). No feijão-vagem, a compreensão dessa variabilidade é essencial para interpretar como a espécie responde a ambientes contrastantes, contribuindo para a caracterização da expressão fenotípica dos genótipos (Peixoto *et al.*, 2002; Francelino *et al.*, 2011).

A avaliação descritiva de genótipos em diferentes locais de cultivo, como condições tropicais no Brasil e condições mediterrânicas em Portugal, gera dados que auxiliam na compreensão da amplitude de variação fenotípica, associada ao ambiente. Estudos demonstram que características relacionadas ao hábito de crescimento, arquitetura de planta e componentes de produção podem apresentar alterações relevantes conforme o local de cultivo, reforçando a importância da caracterização morfoagronômica para registrar o desempenho observado (Vidal *et al.*, 2007; Gomes *et al.*, 2016; MacQueen *et al.*, 2020). Nesse contexto, o uso de metodologias descritivas e de representações gráficas, como gráficos do tipo boxplot, podem contribuir para visualizar a distribuição dos dados e a amplitude das respostas fenotípicas em cada ambiente avaliado.

Dessa forma, a análise da variabilidade fenotípica, em um aspecto descritivo e comparativo, busca documentar alterações observadas no fenótipo, desde mudanças na fenologia até variações em caracteres produtivos, relacionadas às diferenças edafoclimáticas e ao manejo em cada local (Artega *et al.*, 2019; Abranches *et al.*, 2022). Essa abordagem é baseada na premissa de que a descrição detalhada do desempenho das linhagens sob diferentes condições ambientais constitui etapa inicial para ampliar o entendimento sobre a expressão fenotípica dos genótipos e sua resposta a cenários contrastantes de cultivo, como o tropical e o mediterrâneo (Ferreira, 2015; Pereira, 2023).

### 3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.2.3.1 Material vegetal

Foram utilizados 21 genótipos de feijão-vagem pertencentes à geração F<sub>6</sub>, oriundos de cruzamentos entre a Linhagem Amarela (LA) e a cultivar UENF Goytacá (L7), desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento Genético da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) (Tabela 9).

**Tabela 9.** Identificação de 21 linhagens de feijão-vagem avaliadas no município de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil (2023) e Lisboa, Portugal (2025)

Linhagem	Hábito de crescimento	Tipo da vagem	Cor da vagem
L59	Determinado	Manteiga	Verde
L60	Indeterminado	Manteiga	Verde
L61	Indeterminado	Manteiga	Verde
L62	Indeterminado	Manteiga	Verde
L63	Determinado	Manteiga	Amarela
L64	Indeterminado	Manteiga	Amarela
L65	Indeterminado	Manteiga	Amarela
L66	Indeterminado	Manteiga	Amarela
L67	Indeterminado	Manteiga	Roxa
L68	Indeterminado	Manteiga	Verde
L69	Indeterminado	Manteiga	Amarela
L70	Indeterminado	Manteiga	Verde
L71	Indeterminado	Manteiga	Verde
L72	Indeterminado	Manteiga	Verde
L73	Indeterminado	Manteiga	Verde
L74	Indeterminado	Manteiga	Amarela
L75	Indeterminado	Manteiga	Amarela
L76	Indeterminado	Manteiga	Amarela
L77	Determinado	Manteiga	Amarela
L78	Indeterminado	Manteiga	Verde
L79	Indeterminado	Manteiga	Amarela

#### 3.2.3.2 Instalação do experimento (Brasil)

O experimento foi conduzido entre maio e julho de 2023, no município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil (21°18'47" S; 41°18'24" O), sob 14 m de altitude, em área experimental da PESAGRO-RIO, em convênio com a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco, apresentando temperatura média superior a 18 °C no mês mais frio. O solo da área é

classificado como Cambissolo de origem fluvial, com drenagem moderada (Paes et al., 2012).

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e 21 tratamentos (genótipos), conforme o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij}$$

Em que:

$Y_{ij}$ : é o valor de uma observação correspondente ao  $j$ -ésimo bloco do  $i$ -ésimo tratamento;

$\mu$  = é a média geral;

$T_i$ : é o efeito do  $i$ -ésimo tratamento;

$\beta_j$ : é o efeito do  $j$ -ésimo bloco; e

$e_{ij}$ : é o erro experimental associado ao  $j$ -ésimo bloco do  $i$ -ésimo tratamento com  $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ .

Cada parcela experimental foi composta por cinco plantas, conduzidas em espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. A semeadura foi feita em maio de 2023, sendo utilizadas duas sementes por cova. Aos 15 dias após a emergência, foi feito o desbaste, mantendo-se uma planta por cova.

As plantas foram conduzidas sob tutoramento vertical, com irrigação por aspersão e manejo cultural conforme as recomendações agronômicas para a cultura, visando a garantir o adequado desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. A colheita foi feita manualmente em cinco ocasiões ao longo do ciclo, sendo as amostras identificadas por parcela e repetição e posteriormente encaminhadas ao laboratório para avaliação das características propostas. Os dados meteorológicos do período foram coletados por meio do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.



**Figura 6.** Área experimental antes do tutoramento das plantas, Campos dos Goytacazes – RJ, maio de 2023.

### 3.2.3.3 Estabelecimento do ensaio (Portugal)

Para este estudo, foram avaliadas 21 linhagens de feijão-vagem (Tabela 9). Os ensaios foram conduzidos entre março e junho de 2025, nas instalações do Instituto Superior de Agronomia (ISA) – Universidade de Lisboa, Portugal (38°42'25,6" N e 9°10'54,5" O), sob altitude de 60 m. O clima de Lisboa é classificado como temperado mediterrânico (Csa), de acordo com a classificação de Köppen. Caracteriza-se por invernos suaves e chuvosos e verões quentes e secos. A temperatura média anual é amena, geralmente variando entre 8°C no inverno e 29°C no verão, com influência oceânica que modera o calor extremo (IPMA, 2026).

O cultivo foi feito em 21 canteiros com volume de 1 m<sup>3</sup> (Figura 7), preenchidos com solo de textura arenosa, proveniente da Península de Setúbal. Em cada canteiro foram estabelecidas 25 covas por genótipo, mantendo-se uma planta por cova após o desbaste. Os dados meteorológicos do período foram coletados na estação meteorológica localizada na Tapada da Ajuda.

O ensaio conduzido no ISA – ULisboa teve caráter não experimental, sendo implantado para fins de caracterização agrônômica descritiva das linhagens sob condições edafoclimáticas locais, não tendo ocorrido controle de variabilidade experimental que permitisse inferência estatística comparativa entre os ambientes.



**Figura 7.** Área experimental preparada para a sementeira, Instituto Superior de Agronomia – ULisboa, março de 2025.

#### 3.2.3.4 Características avaliadas

Durante a execução dos experimentos foram avaliadas as seguintes características de acordo com os descritores para *Phaseolus vulgaris* do International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) e Albuquerque (2021):

- a) Número de dias até a emergência (NDE): dado pela contagem do número de dias desde a sementeira até a emergência das plântulas;
- b) Número de dias até a floração (NDIF): obtido pelo número de dias a partir da sementeira até o florescimento, observando quando pelo menos 50% das plantas tinham flores abertas;
- c) Altura da planta (ALTP): obtida com auxílio de fita métrica para a mensuração da altura correspondente à distância do colo até o final da haste principal, expressa em metros;
- d) Número de vagens/planta (NVP): quantificação do número total de vagens verdes por planta;
- e) Número médio de grãos por vagem (NGV): dado pela média do número de grãos de dez vagens;
- f) Diâmetro médio da vagem (DMV): medido com paquímetro de precisão na porção central da vagem em uma amostra de dez frutos por planta, em mm;

- g) Comprimento médio da vagem (COMPV): comprimento longitudinal das vagens, medido com régua milimetrada, em uma amostra de dez vagens por planta, expresso em cm;
- h) Peso de cem sementes (P100G): obtido com balança de precisão e expresso em gramas; e
- i) Diâmetro médio do caule (DMC): medido com paquímetro digital na altura do colo da planta, expresso em mm.

As mesmas características foram avaliadas nos dois locais, respeitando as particularidades operacionais de cada ensaio.

### **3.2.3.5 Análises de dados**

As análises estatísticas foram realizadas no software R e divididas em duas etapas. Na primeira, de caráter paramétrico, foram analisados os dados do experimento conduzido no Brasil, utilizando o pacote ExpDes.pt para a realização da análise de variância (ANOVA) e do teste de comparação de médias em nível de 5% de probabilidade. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e, quando constatadas diferenças significativas, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott. A manipulação dos dados foi feita com o pacote tidyverse, e a análise de correlação entre as variáveis foi conduzida com o auxílio do pacote corrplot.

Na segunda etapa, com o objetivo de comparar os experimentos conduzidos no Brasil e em Portugal, foi feita uma análise descritiva dos dados. Para essa finalidade, foi utilizado o pacote ggplot2 na construção de gráficos do tipo boxplot, bem como a função summary, para a obtenção de estatísticas descritivas, incluindo média, mediana, quartis e valores mínimo e máximo, por país.

Não foi feita análise conjunta dos dados, uma vez que os ensaios apresentaram naturezas experimentais distintas (delineamento controlado no Brasil e avaliação observacional em Portugal), sendo a comparação entre os locais conduzida exclusivamente de forma descritiva.

### 3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.2.4.1 Desempenho morfoagronômico das linhagens no Brasil

- Variabilidade e comparação de médias dos caracteres agronômicos

Os resultados da análise de variância incluem os valores e os níveis de significância dos quadrados médios, bem como os coeficientes de variação experimental, estimados com base nas médias dos tratamentos para os caracteres morfoagronômicos avaliados em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, 2023. As informações referem-se às variáveis analisadas no delineamento experimental adotado, conforme apresentado na Tabela 10.

**Tabela 10.** Análise de variância dos caracteres morfoagronômicos avaliados em linhagens de feijão-vagem nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, 2023

F.V.	GL	Quadrado Médio				
		ALTP	DMC	NGV	NVP	P100G
Linhagens	20	0,81**	1,48**	1,10**	255,59*	246,096**
Blocos	3	0,03	2,45	1,57	264,73	19,506
Resíduo	60	0,05	0,50	0,44	116,95	6,051
C.V. (%)		14,41	16,32	9,64	34,41	7,70
Média		1,62	4,33	6,93	31,37	30,94

\*\* , \* indicam, respectivamente, efeitos significativos em nível de 1% ( $p \leq 0,01$ ) e de 5% ( $p \leq 0,05$ ) de probabilidade de acordo com o Teste F. ALTP – Altura da planta (m); DMC – diâmetro médio do colmo (mm); NGV – número de grãos por vagem; NVP – número de vagens por planta; P100G – peso (massa) médio de 100 grãos (g).

Foram observadas diferenças altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre linhagens para altura de plantas (ALTP), diâmetro médio do caule (DMC), número de grãos por vagem (NGV) e peso de cem grãos (P100G). A característica número de vagens por planta (NVP) apresentou efeito significativo a nível de 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ), indicando que, embora mais influenciado por fatores ambientais, também houve distinção entre os genótipos avaliados.

As variáveis fenológicas número de dias até a emergência (NDE) e número de dias até a floração (NDIF) não atenderam ao pressuposto de normalidade pelo teste de Shapiro–Wilk, não sendo, portanto, submetidas à análise de variância. Ainda assim, observou-se baixa variação entre os genótipos para essas

características, sugerindo comportamento fenológico semelhante nas condições avaliadas.

Os coeficientes de variação (CV) variaram de 7,70% para peso (massa) dos 100 grãos (P100G) a 34,41% para número de vagens por planta (NVP). O maior coeficiente de variação observado para NVP sugere que essa característica apresenta maior sensibilidade às condições de cultivo e ao desenvolvimento individual das plantas.

O agrupamento de médias das linhagens pelo teste de Scott-Knott permitiu identificar diferenças no comportamento das linhagens para todos os caracteres avaliados (Tabela 11), confirmando a variabilidade detectada na análise de variância.

**Tabela 11.** Agrupamento de médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para variáveis morfoagronômicas de linhagens de feijão-vagem cultivadas nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, 2023

Linhagem	ALTP	DMC	NGV	NVP	P100G
L59	0,68 c	5,00 a	6,50 b	30,95 b	29,75 b
L60	1,75 a	3,66 b	6,75 b	24,70 b	29,00 b
L61	1,63 a	4,05 b	7,25 a	34,90 b	30,50 a
L62	1,56 a	4,32 b	6,25 b	28,10 b	32,75 a
L63	0,78 c	5,75 a	5,75 b	49,05 a	31,50 a
L64	1,60 a	4,41 a	7,00 a	29,50 b	32,50 a
L65	1,68 a	4,55 a	7,25 a	25,55 b	31,50 a
L66	1,74 a	4,48 a	7,25 a	33,80 b	31,50 a
L67	1,81 a	5,07 a	7,25 a	51,80 a	28,00 b
L68	2,01 a	4,57 a	7,25 a	23,65 b	32,00 a
L69	2,06 a	3,89 b	7,00 a	23,90 b	32,25 a
L70	1,10 b	5,13 a	6,25 b	35,75 b	29,50 b
L71	1,86 a	5,16 a	6,25 b	41,90 a	30,50 a
L72	1,92 a	3,91 b	6,75 b	28,33 b	30,75 a
L73	1,80 a	3,57 b	6,50 b	24,60 b	28,50 b
L74	2,03 a	3,90 b	7,50 a	29,10 b	32,50 a
L75	1,88 a	4,16 b	7,25 a	28,00 b	29,00 b
L76	1,97 a	3,31 b	7,25 a	34,20 b	31,50 a
L77	0,54 c	4,49 a	7,00 a	21,70 b	29,75 b
L78	1,88 a	4,56 a	7,25 a	33,10 b	31,75 a
L79	1,68 a	3,91 b	8,00 a	27,45 b	29,25 b

Letras iguais na coluna indicam médias pertencentes ao mesmo grupo de acordo com o algoritmo de Scott Knott em nível de significância de 5%. ALTP – Altura da planta (m); DMC – diâmetro médio do colmo (mm); NGV – número de grãos por vagem; NVP – número de vagens por planta; P100G – peso (massa) médio de 100 grãos (g).

Para altura de plantas (ALT), houve formação de três grupos. A maioria das linhagens (17 genótipos) apresentou maior porte e foi alocada no grupo de maior média (a), com destaque para a L69 (2,06 m) e L74 (2,03 m). Já as linhagens L59,

L63 e L77 formaram o grupo "c" com as menores alturas, indicando um porte significativamente mais baixo que as demais. Adicionalmente, esse comportamento pode estar diretamente ligado ao hábito de crescimento determinado desses genótipos, que, diferentemente das linhagens do grupo "a", que apresentam crescimento indeterminado e requerem tutoramento para atingir seu potencial de expansão da haste principal, as linhagens de hábito determinado cessam o crescimento vegetativo precocemente com a formação da inflorescência terminal.

Genótipos de crescimento indeterminado, ainda que atinjam rendimentos superiores em razão do ciclo prolongado de colheita, demandam manejo intensivo com tutoramento e requerem maior mão de obra para colheitas múltiplas. Além disso, por terem ciclo mais longo, esses materiais se tornam mais propensos à incidência de pragas e doenças, o que pode elevar os custos de produção (Filgueira, 2013; Vaz, 2014).

Por outro lado, as linhagens de hábito determinado são uma alternativa estratégica para a redução dos custos de produção, visto que o ciclo mais curto e o florescimento concentrado racionalizam o uso do solo e possibilitam a mecanização (Vidal *et al.*, 2007). No Brasil, genótipos com esse hábito de crescimento apresentam grande potencial para pequenas propriedades em sistemas de rotação de culturas ou consórcios, firmando-se como genótipos de alta eficiência produtiva e menor risco fitossanitário em comparação aos de ciclo longo (Krause *et al.*, 2012).

Com relação ao diâmetro médio do colmo (DMC), foi verificada a formação de dois grupos de média. As linhagens com colmos mais robustos (grupo "a") incluem a L63, com média 5,75 mm de colmo, e a L71, com 5,16 mm de colmo. O DMC é de grande importância para a arquitetura da planta, pois genótipos com colmos mais vigorosos proporcionam maior sustentação e resistência para suportar o peso das vagens e para resistir a ventos e ao acamamento, ocorrendo menos doenças via solo-planta, bem como melhor qualidade da vagem e menor perda na colheita (Hiolanda *et al.*, 2018; Cerutti *et al.*, 2021).

Houve também a formação de dois grupos de médias para a característica número de grãos por vagem (NGV). O grupo com maior média foi composto por 11 genótipos, destacando-se L79, com cerca de 8 grãos por vagem, e L74, com aproximadamente 7,50 grãos por vagem. O NGV é um componente direto do

rendimento e as linhagens aqui estudadas mostraram um potencial plenamente satisfatório para enchimento de vagem. Francelino et al. (2011) e Jaeggi (2021) encontraram resultados semelhantes a esses em seus estudos sobre feijão-vagem para a região Norte e Noroeste Fluminense e Sul Capixaba, tendo encontrado valores de NGV entre 5,05 e 8,90 e entre 6,12 e 8,37, respectivamente.

Cabe destacar que as linhagens avaliadas nesses trabalhos, assim como as utilizadas nesta pesquisa, foram desenvolvidas no âmbito do programa de melhoramento genético de feijão-vagem da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), o que pode ter contribuído para a similaridade dos desempenhos observados para essa característica.

Todavia, diferentemente do observado para NGV, a característica número de vagens por planta (NVP) apresentou maior variação em relação aos estudos citados. Essa característica, um dos principais componentes da produção, expressa a capacidade de emissão de estruturas reprodutivas por planta. No presente estudo, apenas três linhagens se destacaram no grupo de maior média, sendo L67 (51,80 vagens planta<sup>-1</sup>), L63 (49,05 vagens planta<sup>-1</sup>) e L71 (41,90 vagens planta<sup>-1</sup>), indicando desempenho superior nas condições de cultivo de Campos dos Goytacazes.

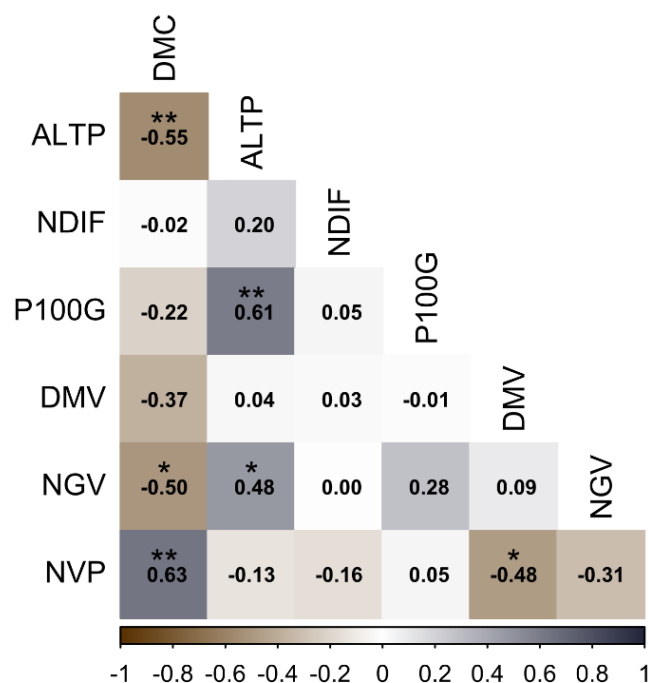
Francelino et al. (2011) relataram valores variando de 31,00 a 79,60 vagens por planta, enquanto Jaeggi (2021) registrou amplitudes ainda mais elevadas, de 46,25 a 137,50 vagens por planta. Essa diferença entre estudos é esperada, uma vez que o NVP apresenta maior dependência das condições de cultivo e do manejo adotado, sendo uma característica mais sensível a variações ambientais do que o NGV, que tende a apresentar expressão mais estável (Borém & Miranda, 2005; Filgueira, 2013).

Por fim, para a característica peso (massa) de cem grãos (P100G), observou-se formação de dois grupos de médias. O grupo de maiores médias reuniu as linhagens com os grãos mais pesados, com destaque para L62 (32,75 g), L64 (32,50 g) e L74 (32,50 g). Essa característica está associada ao enchimento das sementes e ao acúmulo de reservas, refletindo a eficiência fisiológica das plantas durante a fase reprodutiva. O peso das sementes constitui, portanto, um importante indicador do padrão de desenvolvimento das estruturas reprodutivas e da expressão fenotípica das linhagens sob determinadas

condições de cultivo (Borém & Miranda, 2005). Em hortaliças leguminosas, atributos relacionados ao tamanho e à massa das sementes também estão ligados à qualidade do produto formado e ao equilíbrio entre crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas (Filgueira, 2013).

- Associação entre caracteres morfoagronômicos

Embora o teste de comparação de médias permita identificar diferenças entre linhagens para cada característica de forma isolada, caracteres agronômicos são biologicamente interdependentes, sendo resultantes da ação conjunta de múltiplos processos fisiológicos. Nesse contexto, a análise de correlação complementa a interpretação univariada ao quantificar o grau de associação entre variáveis, possibilitando compreender como os atributos morfológicos e produtivos se relacionam na expressão fenotípica das linhagens (Cruz & Carneiro, 2006; Hongyu *et al.*, 2016).



**Figura 8.** Correlações de Pearson entre caracteres morfoagronômicos avaliados nas linhagens de feijão-vagem no experimento conduzido em Campos dos Goytacazes – RJ (2023). Os coeficientes de correlação estão representados por cores, variando de -1 a +1, conforme a escala apresentada. \* e \*\* indicam correlações significativas pelo teste t a 5% ( $p \leq 0,05$ ) e 1% ( $p \leq 0,01$ ) de probabilidade, respectivamente.

Observou-se correlação positiva de moderada magnitude entre o diâmetro médio do caule (DMC) e o número de vagens por planta (NVP) ( $r = 0,63$ ) (Figura 8), indicando que plantas com maior vigor estrutural na base tenderam a apresentar maior formação de vagens. Por outro lado, a altura de plantas (ALTP) apresentou correlação negativa e baixa com o NVP ( $r = -0,13$ ), sugerindo que o crescimento em altura não foi o fator determinante para a emissão de estruturas reprodutivas neste ensaio.

A associação positiva entre DMC e NVP indica que o maior diâmetro do caule está relacionado ao maior vigor das plantas, beneficiando a sustentação mecânica, a translocação de fotoassimilados e o suporte ao desenvolvimento reprodutivo. Em hortaliças de crescimento tutorado, estruturas caulinares mais robustas tendem a melhorar a eficiência fisiológica da planta, permitindo maior fixação e enchimento de vagens, uma vez que reduzem limitações estruturais e aumentam a capacidade de suporte das cargas produtivas (Filgueira, 2013; Hiolanda *et al.*, 2018).

Por outro lado, a baixa correlação observada entre altura de plantas e número de vagens indica que o alongamento da haste principal não esteve diretamente associado ao incremento produtivo, refletindo um padrão comum em leguminosas hortícolas, nas quais o rendimento depende mais da ramificação, do vigor e do equilíbrio vegetativo-reprodutivo do que do crescimento em altura propriamente dito (Vidal *et al.*, 2007; Oliveira, 2015; Gomes *et al.*, 2016).

Esse comportamento evidencia que caracteres morfológicos isolados nem sempre são bons preditores de produtividade, sendo necessário analisá-los de forma integrada (Borém & Miranda, 2005). Essa dinâmica é particularmente evidente nas linhagens de hábito determinado avaliadas (L59, L63 e L77), que, apesar de apresentarem menor estatura, compensaram a produção pelo maior vigor caulinar.

Também foi verificada correlação positiva entre ALTP e número de grãos por vagem (NGV) ( $r = 0,48$ ), bem como entre ALTP e peso (massa) de cem grãos (P100G) ( $r = 0,61$ ), evidenciando que o maior alongamento da haste esteve associado a grãos mais pesados e a vagens mais preenchidas. Além disso, essa correlação positiva sugere que, nas condições avaliadas, o maior desenvolvimento vegetativo pode ter favorecido a produção e a translocação de fotoassimilados para as estruturas reprodutivas. Plantas mais altas tendem a

exibir maior área foliar e maior capacidade fotossintética, o que colabora para o enchimento das vagens e maior acúmulo de massa nos grãos, sem necessariamente implicar aumento no número de vagens emitidas (Taiz & Zeiger, 2013).

Esse comportamento demonstra a atuação diferenciada dos componentes do rendimento, nos quais características relacionadas ao crescimento vegetativo se associam mais diretamente com o enchimento dos grãos do que com a definição do número de estruturas reprodutivas, o que frequentemente é observado em hortaliças de hábito trepador ou tutorado (Ramos Junior *et al.*, 2005; Filgueira, 2013).

Observou-se correlação negativa entre o diâmetro médio do caule (DMC) e a altura de plantas (ALTP) ( $r = -0,55$ ), indicando uma tendência de diferenciação arquitetural entre as linhagens avaliadas. Linhagens com caules mais espessos apresentaram menor estatura, característica associada a genótipos de crescimento mais determinado, nos quais há maior investimento em sustentação estrutural do que em alongamento vegetativo, resultando, frequentemente, em plantas com maior resistência ao acamamento (Taiz & Zeiger, 2013).

O número de vagens por planta (NVP) apresentou correlação negativa com o diâmetro médio da vagem (DMV) ( $r = -0,48$ ) e com o NGV ( $r = -0,31$ ), indicando um possível ajuste compensatório entre a quantidade de frutos produzidos e o desenvolvimento individual das vagens. Tal comportamento é frequentemente observado em características quantitativas de produção, em que diferentes componentes do rendimento podem apresentar relações inversas em razão da partição de recursos e do equilíbrio fisiológico da planta (Borém & Miranda, 2005; Ramos Junior *et al.*, 2005).

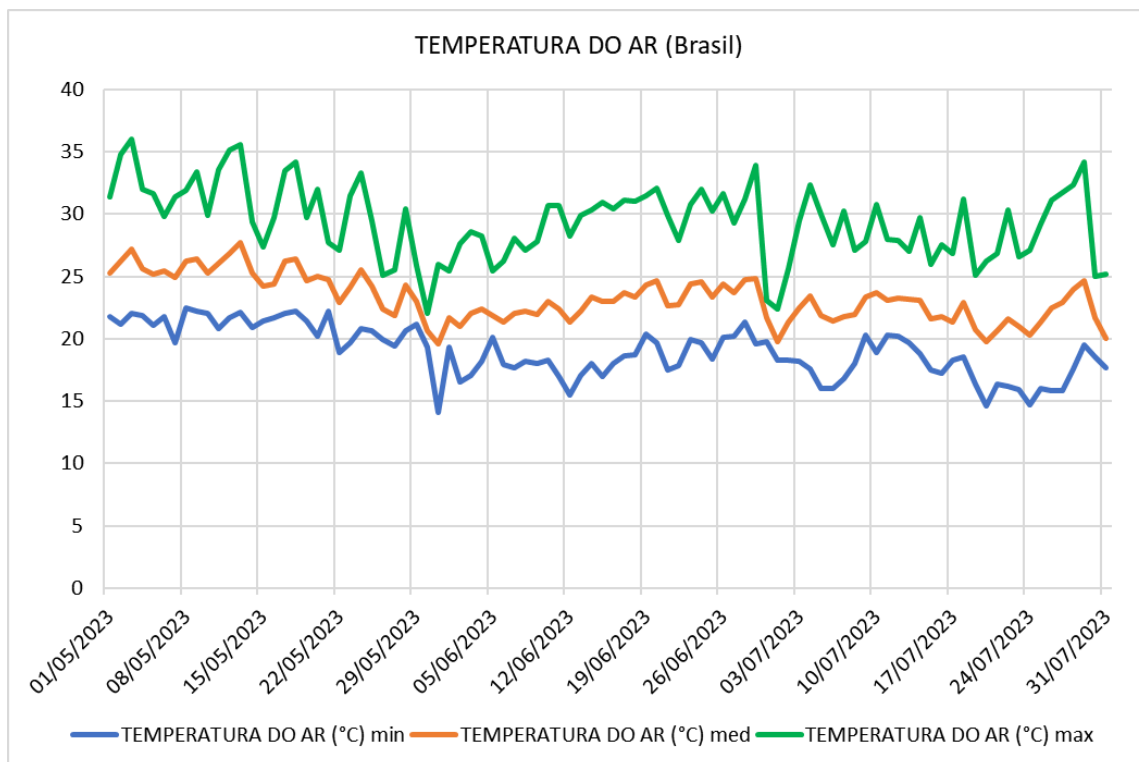
Adicionalmente, as correlações nulas ou de magnitude desprezível observadas entre o número de dias até a floração (NDIF) e os componentes de produção sugerem independência estatística entre a precocidade e as características produtivas avaliadas. Isso indica que variações no tempo até o florescimento, nas condições deste ensaio, não estiveram relacionadas de forma consistente ao vigor do caule (DMC) ou ao peso de cem grãos (P100G), asseverando que diferentes grupos de características podem se expressar de forma pouco relacionada em estudos de caracterização fenotípica do feijoeiro (Vaz *et al.*, 2017; Artega *et al.*, 2019).

De maneira geral, os resultados obtidos no experimento conduzido em Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil demonstram que, embora várias linhagens apresentem comportamento semelhante para determinadas características, ocorrem diferenças relevantes, especialmente nos componentes produtivos, mostrando a presença de variabilidade fenotípica ainda detectável na geração F<sub>6</sub>. Essa variabilidade dá suporte para a caracterização do desempenho agrônomo das linhagens nas condições tropicais avaliadas e fornece a base para a análise comparativa com o cultivo feito em Portugal, em que o contraste das condições edafoclimáticas possibilita observar o potencial de expressão dessas características em ambiente temperado.

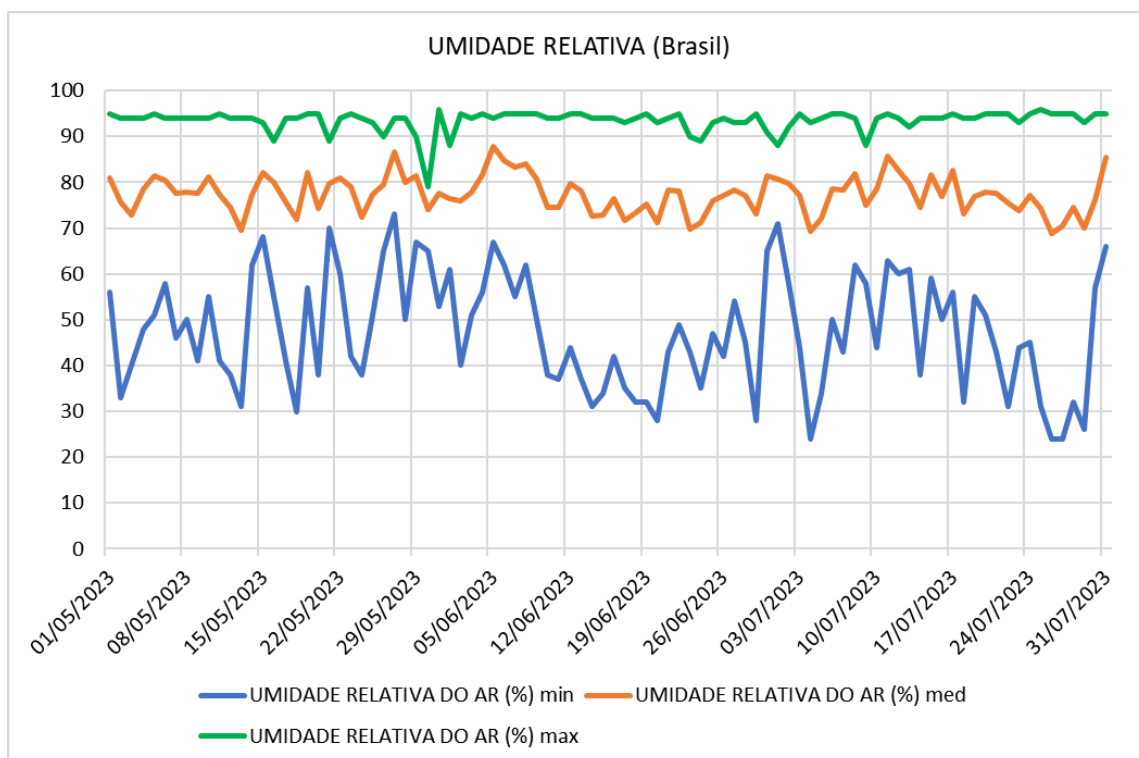
#### **3.2.4.2 Condições meteorológicas dos ensaios**

A interpretação do desempenho agrônomo das linhagens deve considerar as condições meteorológicas registradas durante os períodos experimentais, uma vez que a expressão fenotípica das plantas tem relação direta com o ambiente em que são cultivadas. Ainda que ambos os ensaios tenham apresentado médias de umidade relativa do ar semelhantes, em torno de 77,5% no Brasil e 76% em Portugal, o regime térmico evidenciou diferenças marcantes entre as duas localidades, demonstrando as particularidades climáticas e sazonais de cada local de cultivo.

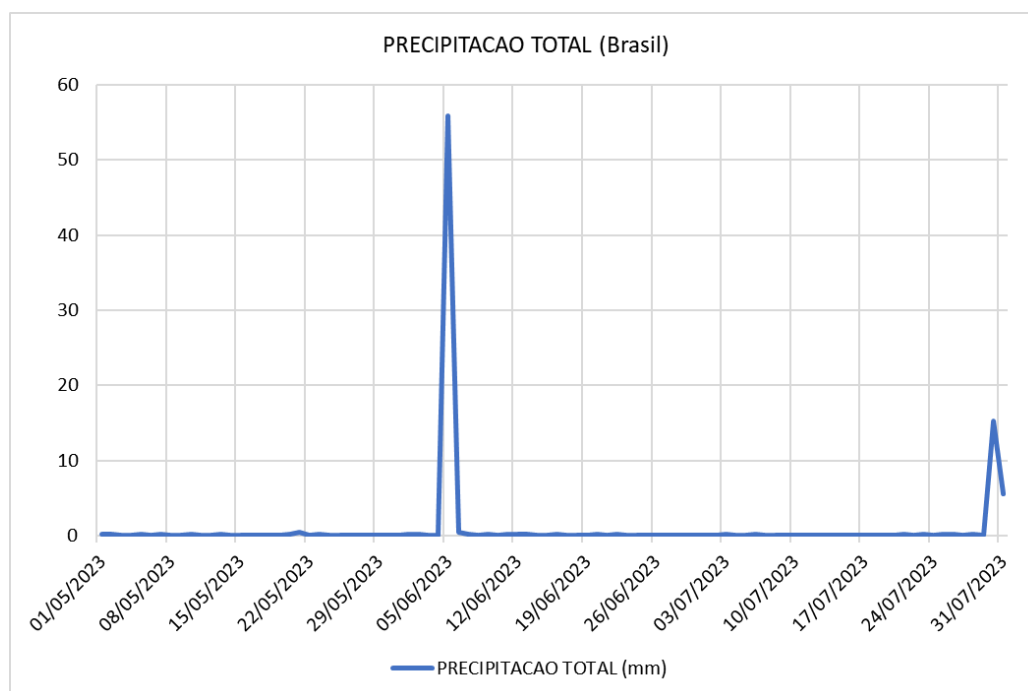
Em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, o ensaio foi conduzido entre os meses de maio e julho de 2023, período correspondente ao final do outono e início do inverno na região, caracterizado por temperaturas ainda elevadas, típicas do clima tropical Aw (Figura 9). A temperatura média manteve-se próxima de 24 °C, com picos de máxima de 36 °C e mínima de 14 °C, enquanto a umidade relativa apresentou valores altos e relativamente estáveis, com média próxima de 77,5% (Figura 10). A precipitação total registrada teve média de 0,9 mm, com picos de 55,8 mm (Figura 11).



**Figura 9.** Temperaturas máxima, média e mínima (°C) encontradas em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, no período de maio a julho de 2023.



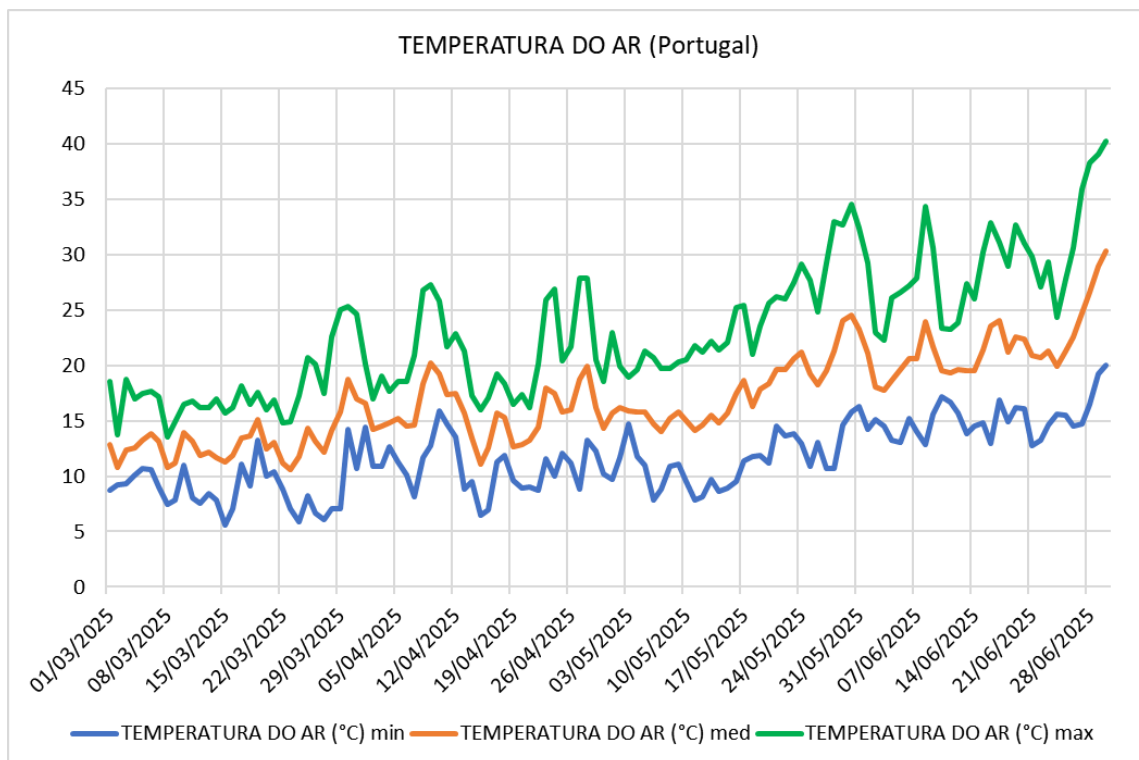
**Figura 10.** Umidades relativas do ar máxima, média e mínima (%) encontradas em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, no período de maio a julho de 2023.



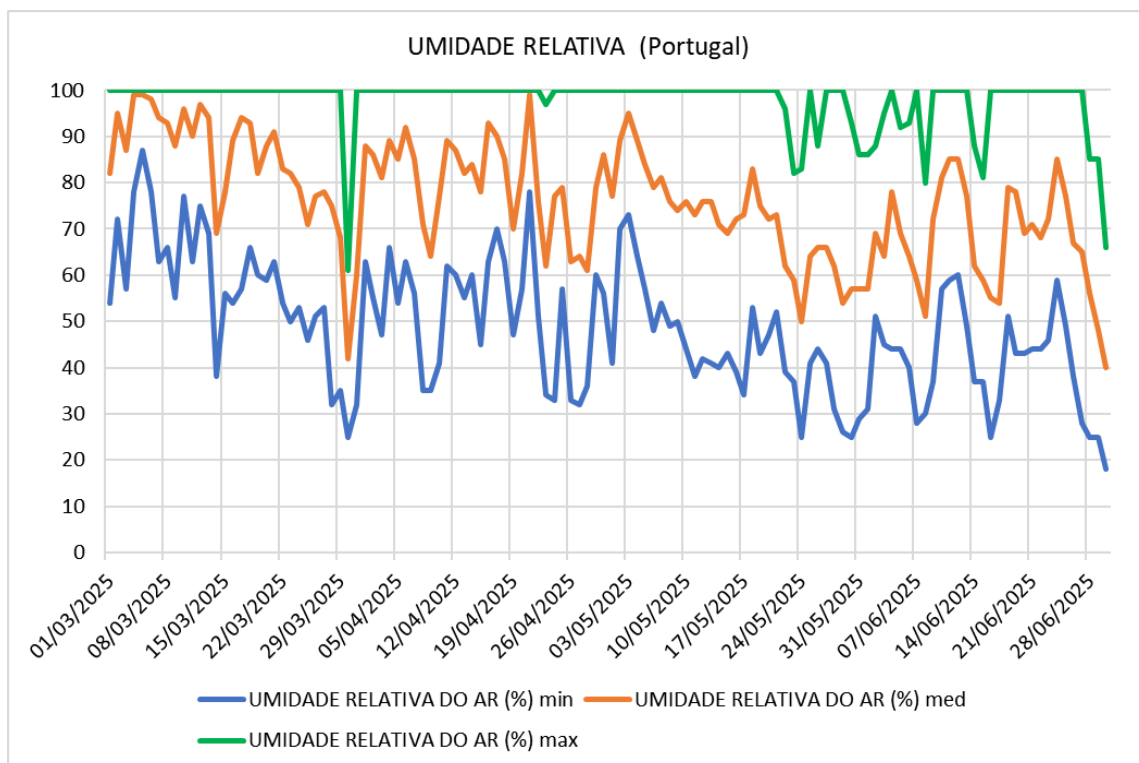
**Figura 11.** Precipitação total (mm) registrada durante a condução do experimento nas condições de Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, no período de maio a julho de 2023.

O experimento realizado em Lisboa, Portugal, foi conduzido entre março e junho de 2025, período que corresponde ao início da primavera e à transição para o início do verão mediterrânico. Nessa estação, as condições ambientais caracterizam-se por maior variabilidade térmica ao longo dos dias, com temperaturas mais amenas quando comparadas às registradas no ambiente tropical brasileiro.

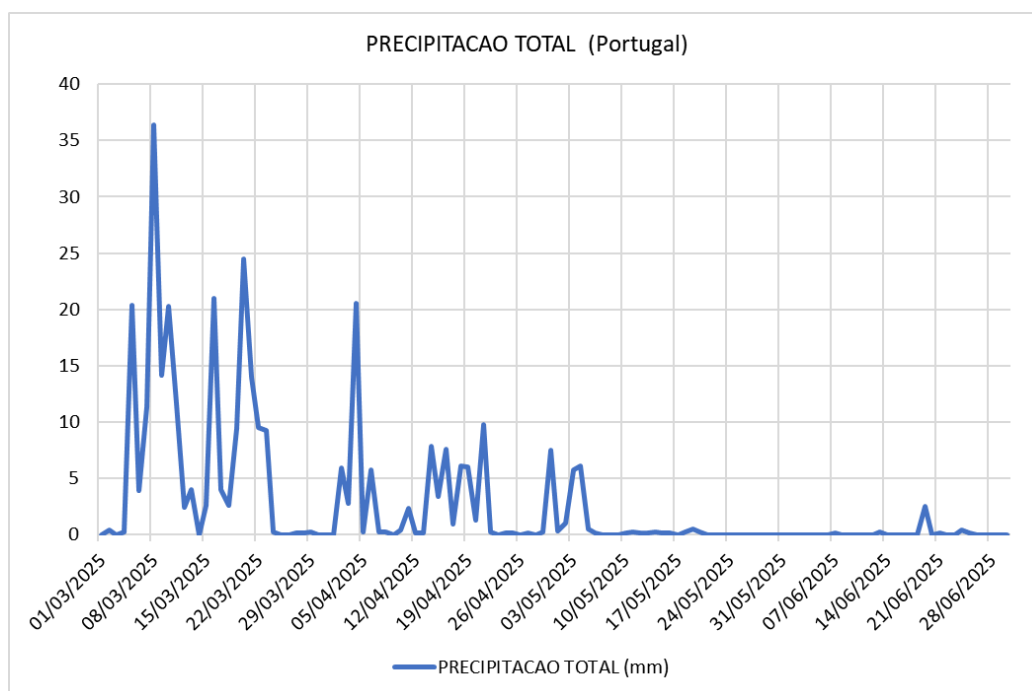
A temperatura média durante o ciclo experimental esteve em torno de 17 °C, com picos de máxima de 40,3 °C e mínima de 5,6 °C, mostrando tendência gradual de elevação à medida que o verão se aproximava (Figura 12). A umidade relativa do ar mostrou maior oscilação diária (Figura 13), refletindo a dinâmica atmosférica típica do clima Csa, em que períodos mais secos se alternam com dias de maior umidade, conforme descrito para a região de Lisboa (IPMA, 2026). A precipitação total registrada teve média de 2,7 mm, com picos de 36,4 mm (Figura 14).



**Figura 12.** Temperaturas máxima, média e mínima (°C) encontradas em Lisboa, Portugal, no período de março a junho de 2025.



**Figura 13.** Umidades relativas do ar máxima, média e mínima (%) encontradas em Lisboa, Portugal, no período de março a junho de 2025.



**Figura 14.** Precipitação total (mm) registrada durante a condução do ensaio em Lisboa, Portugal, no período de março a junho de 2025.

### 3.2.4.3 Comportamento morfoagronômico das linhagens no ambiente português

O ensaio conduzido em Lisboa, Portugal, teve caráter descritivo, não sendo adotado delineamento experimental formal. Em função disso, os resultados foram analisados por meio de estatística descritiva, tendo sido utilizadas medidas de posição e dispersão (mediana, quartis, valores mínimos e máximos), com o objetivo de caracterizar o comportamento fenotípico e a plasticidade das linhagens nas condições edafoclimáticas de Lisboa.

Foi possível observar uma ampla variação para a maioria dos caracteres avaliados (Tabela 12), demonstrando que, mesmo em geração avançada ( $F_6$ ), as linhagens ainda expressam diferenças fenotípicas quando cultivadas sob condições ambientais distintas.

A altura de plantas (ALTP) apresentou elevada amplitude, com valores entre 0,00 e 75,40 cm e intervalo interquartil relativamente largo ( $Q_1 = 22,70$ ;  $Q_3 = 57,00$ ). Essa heterogeneidade no porte, somada ao valor mínimo nulo, reforça a sensibilidade diferencial dos genótipos ao estabelecimento sob o regime térmico crescente e as oscilações de umidade características do ambiente mediterrâneo.

**Tabela 12.** Estatística descritiva dos caracteres morfoagronômicos de linhagens de feijão-vagem cultivadas em Lisboa, Portugal, 2025. São apresentados os valores de mediana ( $\bar{x}$ ), primeiro e terceiro quartis ( $Q_1$  e  $Q_3$ ), além dos valores mínimo e máximo observados

Caracter <sup>1</sup>	$\bar{x}$	Q1	Q3	Mínimo	Máximo
ALTP	41,00	22,70	57,00	0,00	75,40
COMPV	10,10	8,85	10,50	7,20	11,60
DMC	2,85	2,72	2,94	2,25	3,20
DMV	9,35	8,63	9,98	5,70	12,42
NDE	26,00	26,00	35,00	21,00	35,00
NDIF	49,00	40,00	49,00	40,00	54,00
NGV	3,80	2,90	5,45	1,00	6,00
NVP	2,70	1,70	3,25	1,00	5,00
P100G	16,10	14,45	20,40	10,90	28,90

<sup>1</sup>ALTP, altura de planta (cm); COMPV, comprimento de vagem (cm); DMC, diâmetro do caule (mm); DMV, diâmetro de vagem (mm); NDE, número de dias até a emergência; NDIF, número de dias até o florescimento; NGV, número de grãos por vagem; NVP, número de vagens por planta; P100G, peso de 100 grãos (g).

Os resultados heterogêneos observados para a característica altura de plantas podem estar ligados à resposta diferenciada dos genótipos às condições térmicas registradas no início do ciclo no ambiente europeu (Figura 12). O grande intervalo da emergência até o florescimento sugere que o estabelecimento se deu sob temperaturas inferiores à faixa considerada ótima para a cultura, visto que o feijão-vagem exibe melhor desenvolvimento entre aproximadamente 18 °C e 27 °C, enquanto temperaturas abaixo de 15 °C retardam a emergência e promovem desenvolvimento inicial mais lento e desuniforme (Ferreira, 2015; Peixoto & Cardoso, 2016; Hora *et al.*, 2018).

Nessas condições, parte das linhagens foi capaz de retomar o crescimento com a elevação gradual das temperaturas ao longo da primavera, enquanto outras mantiveram desenvolvimento reduzido, mostrando diferenças nas respostas dos genótipos quando cultivados fora da faixa térmica ideal (Taiz & Zeiger, 2013; Zilio *et al.*, 2013).

Como reflexo desse estabelecimento mais lento, foram observadas medianas mais baixas para os componentes da produção, número de vagem por planta (NVP = 2,71) e número de grãos por vagem (NGV = 3,80), com distribuição concentrada em valores diminutos, indicando que houve limitação na expressão

produtiva das linhagens nessas condições de cultivo. Contudo, características morfológicas das vagens, como comprimento (COMPV) e diâmetro (DMV), exibiram menor variabilidade relativa, demonstrando maior estabilidade dessas características com relação às condições ambientais locais.

Essa diferença indica que os componentes numéricos do rendimento, como NVP e NGV, foram mais sensíveis às condições de cultivo, enquanto as dimensões físicas das vagens, representadas pelo COMPV e DMV, mantiveram-se mais uniformes, por estarem mais diretamente ligadas à constituição genética das linhagens e à tipologia comercial do feijão-vagem (Borém & Miranda, 2013; Figueira, 2013; Artega *et al.*, 2019).

As características fenológicas também exibiram distribuição com certa homogeneidade, com mediana de 26 dias para a emergência (NDE) e de 49 dias para a floração (NDIF), mostrando o desenvolvimento das linhagens sob temperaturas mais amenas e menor disponibilidade térmica em comparação com ambientes tropicais. O prolongamento dessas fases denota redução na taxa de desenvolvimento, visto que o feijoeiro depende do acúmulo de calor para progressão de seus estados ontogênicos, sendo fortemente influenciado pelas condições térmicas do ambiente de cultivo (Taiz & Zeiger, 2013; Peixoto & Cardoso, 2016; Hora *et al.*, 2018).

#### **3.2.4.4 Análise descritiva do ensaio conduzido no Brasil**

A estatística descritiva das características avaliadas no experimento conduzido em Campos dos Goytacazes (Tabela 13) possibilita sintetizar a amplitude de variação observada entre as linhagens em condições tropicais de cultivo. De modo geral, foram observados intervalos relativamente estreitos entre os quartis para a maioria das variáveis, apontando comportamento agrônomo homogêneo dentro do ambiente que estava sob avaliação. A característica altura de planta (ALTP) teve mediana de 1,74 m, variando entre 0,54 a 2,06 m, o que mostra diferença no porte das linhagens já mencionada nas análises anteriores.

**Tabela 13.** Estatística descritiva dos caracteres morfoagronômicos de linhagens de feijão-vagem cultivadas em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil, 2023. São apresentados os valores de mediana ( $\tilde{x}$ ), primeiro e terceiro quartis ( $Q_1$  e  $Q_3$ ), além dos valores mínimo e máximo observados

<b>Caractere<sup>1</sup></b>	<b><math>\tilde{x}</math></b>	<b><math>Q_1</math></b>	<b><math>Q_3</math></b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
ALTP	1,74	1,61	1,88	0,54	2,06
COMPV	13,91	12,81	14,72	10,78	15,12
DMC	4,36	3,91	4,57	3,31	5,75
DMV	4,62	4,33	4,86	4,00	5,80
NDE	5,75	5,50	6,00	5,00	6,00
NDIF	30,75	29,50	31,75	28,00	31,75
NGV	7,00	6,50	7,25	5,75	8,00
NVP	28,71	25,34	33,90	21,70	51,80
P100G	33,88	28,12	37,31	21,88	43,25

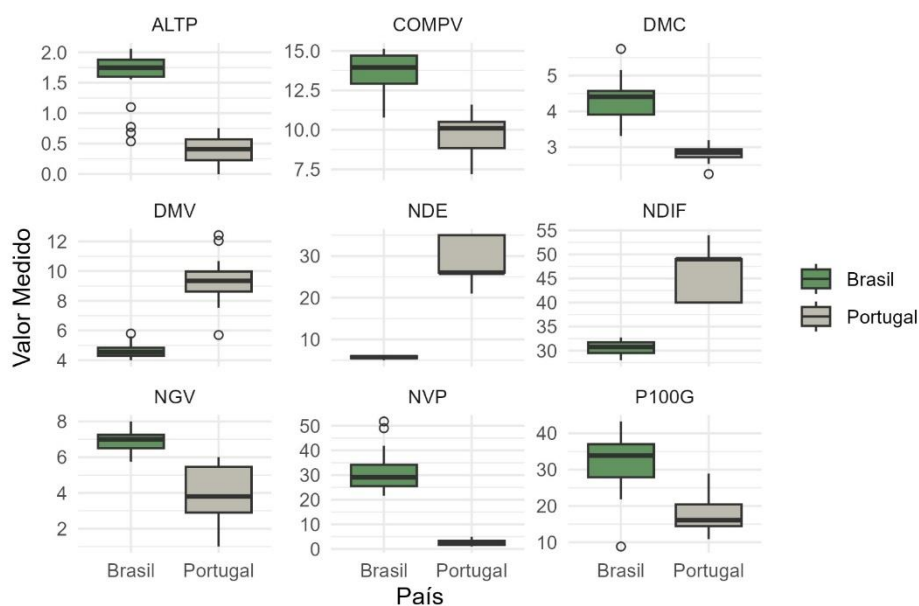
<sup>1</sup>ALTP, altura de planta (m); COMPV, comprimento de vagem (cm); DMC, diâmetro do caule (mm); DMV, diâmetro de vagem (mm); NDE, número de dias até a emergência; NDIF, número de dias até o florescimento; NGV, número de grãos por vagem; NVP, número de vagens por planta; P100G, peso de 100 grãos (g).

Com relação aos componentes da produção, foram observadas medianas de 28,71 vagens por planta (NVP) e 7,00 grãos por vagem (NGV), enquanto o peso de cem grãos (P100G) apresentou mediana de 33,88 g, o que sugere bom enchimento de sementes nas condições ambientais locais. Foi observada ainda baixa dispersão com relação às variáveis fenológicas, com medianas de 5,75 dias para emergência (NDE) e de 30,75 dias para floração (NDIF), denotando um desenvolvimento rápido e uniforme, característico de ambientes com temperaturas elevadas, favoráveis ao crescimento do feijoeiro.

Deste modo, a análise descritiva confirma que, sob, as condições tropicais do Norte Fluminense, as linhagens apresentaram desenvolvimento vegetativo e reprodutivo mais homogêneo, gerando uma base referencial para a comparação com o comportamento observado no ambiente português.

### **3.2.4.5 Comparação descritiva do desempenho das linhagens no Brasil e em Portugal**

Com base na caracterização individual feita para cada local de cultivo, procedeu-se à análise descritiva comparativa do desempenho das linhagens nos dois ambientes. A comparação conjunta é ilustrada por meio dos boxplots apresentados na Figura 15, os quais permitem visualizar simultaneamente a distribuição das variáveis nos dois cenários de cultivo.



**Figura 15.** Distribuição dos caracteres morfoagronômicos de linhagens de feijão-vagem cultivadas em Campos dos Goytacazes, Brasil, 2023 (verde) e Lisboa, Portugal, 2025 (laranja). A linha central em cada boxplot representa a mediana; as extremidades da caixa indicam o primeiro (Q<sub>1</sub>) e o terceiro (Q<sub>3</sub>) quartis; os "whiskers" (bigodes) estendem-se até os valores mínimo e máximo; e os pontos representam possíveis *outliers*.

A comparação descritiva entre os ensaios conduzidos no Brasil e em Portugal evidenciou diferenças marcantes na expressão dos caracteres morfoagronômicos das linhagens avaliadas (Figura 15). De modo geral, foi possível observar que as plantas cultivadas em Campos dos Goytacazes apresentaram maiores valores para a maioria dos componentes da produção, enquanto no ambiente português foram observadas reduções expressivas especialmente nas variáveis relacionadas ao rendimento.

Para altura de plantas (ALTP), os valores observados no Brasil concentraram-se em faixas superiores e com menor dispersão relativa, enquanto em Portugal houve maior amplitude de variação, incluindo plantas de menor porte, indicando que o estabelecimento inicial das linhagens foi mais heterogêneo no ambiente europeu, que, por sua vez, está relacionado às diferenças nas condições térmicas enfrentadas durante o início do ciclo.

Lopes (2020) assevera que o período ideal de cultivo do feijão-vagem em Portugal é entre os meses de fevereiro e dezembro. Contudo, o autor alerta que a cultura sofre grande influência em sua fisiologia por fatores como luz, temperatura

e disponibilidade hídrica. O feijão-vagem, como uma cultura mesotérmica, é sensível ao frio extremo, o que pode ocasionar o não desenvolvimento ou um desenvolvimento lento em temperaturas inferiores a 20 °C, confirmando o que foi observado no presente estudo. Entretanto, as plantas tornam-se mais tolerantes às temperaturas subótimas quando se encontram em estado vegetativo.

As características diretamente associadas à produção, que incluem número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e peso de cem grãos (P100G), apresentaram reduções acentuadas no ensaio conduzido em Portugal. A distribuição dos dados revelou não apenas menores medianas, mas também menor amplitude produtiva, indicando limitação na expressão do potencial das linhagens nesse ambiente (Ferreira, 2015). Por outro lado, no Brasil essas variáveis apresentaram valores mais elevados e maior uniformidade entre genótipos, evidenciando condições ambientais mais favoráveis ao desenvolvimento reprodutivo (Figura 9).

O longo tempo para o desenvolvimento das variáveis fenológicas, especialmente número de dias para emergência (NDE) e número de dias para floração (NDIF), reforça a influência do ambiente português no ciclo de desenvolvimento das plantas, visto que, dependendo das condições ambientais em Portugal, a emergência de plântulas de feijão-vagem pode ocorrer entre 5 e 10 dias após a sementeira, e entre o aparecimento das primeiras flores e a colheita de uma vagem entre cerca de 7 e 12 dias (Ferreira, 2015). O prolongamento dessas fases observadas no presente ensaio sugere que o cultivo ocorreu sob condições ambientais não adequadas para a cultura (Figura 11) (Zilio *et al.*, 2013).

Diferentes estudos indicam que o feijão-vagem apresenta melhor crescimento vegetativo sob temperaturas amenas, com desenvolvimento favorecido aproximadamente entre 18 °C e 27 °C, como pode ser observado durante a condução do experimento brasileiro. Todavia, temperaturas mais baixas retardam a germinação, reduzem o vigor inicial e tornam o crescimento menos uniforme (Peixoto & Cardoso, 2016; Ferreira, 2015; Hora, 2020). Nicoletto *et al.* (2019) também relatam que genótipos de *Phaseolus vulgaris* se desenvolvem menos em condições climáticas de altas latitudes, caso de Portugal, em comparação com o Brasil. Assim, o maior tempo necessário para o

estabelecimento das plantas em Portugal pode ter comprometido etapas subsequentes do desenvolvimento.

A maior sensibilidade observada nos componentes numéricos do rendimento indica que essas variáveis funcionam como indicadores diretos da adequação ambiental. Características como número de vagens e enchimento de grãos dependem intensamente da disponibilidade de fotoassimilados e das condições climáticas durante o florescimento e a frutificação, sendo frequentemente as primeiras a sofrer redução quando a cultura é submetida a condições subótimas (Ramos Junior *et al.*, 2005; Filgueira, 2013, Hora, 2020).

Por outro lado, características associadas à morfologia das vagens, como comprimento (COMPV) e diâmetro (DMV), apresentaram variação relativamente menor entre os ambientes, sugerindo maior estabilidade fenotípica desses atributos, que tendem a estar mais ligados à constituição genética e ao padrão comercial do material (Peixoto *et al.*, 2002; Artega *et al.*, 2019).

Diante disso, é válido ressaltar que a expressão fenotípica de características variáveis está sujeita ao componente genético do genótipo, bem como ao ambiente em que esse genótipo é plantado. Alguns genótipos podem exibir produções estáveis, altas ou baixas, em diferentes condições ambientais, enquanto outros apresentam variações, à medida que essas condições são alteradas (Peixoto *et al.*, 2002).

Os comportamentos aqui observados demonstram que, embora as linhagens avaliadas pertençam ao mesmo programa de melhoramento genético, sua expressão fenotípica foi fortemente modulada pelas condições ambientais de cultivo. O ambiente tropical brasileiro favoreceu maior uniformidade de desenvolvimento e melhor manifestação do potencial produtivo, enquanto o ambiente mediterrânico português impôs restrições ao estabelecimento inicial e à expressão dos componentes de rendimento.

Dessa forma, a comparação entre os ensaios evidencia que o desempenho morfoagronômico das linhagens não é determinado exclusivamente pelo seu potencial genético, mas também pela adequação das condições edafoclimáticas ao ciclo da cultura, resultando em respostas fenotípicas distintas quando cultivadas em cenários ambientais contrastantes.

### 3.2.5 CONCLUSÕES

A avaliação das linhagens de feijão-vagem em Campos dos Goytacazes evidenciou variabilidade genética detectável mesmo em geração avançada, com diferenças significativas para caracteres estruturais e produtivos. Nesse ambiente, foram observados desenvolvimento mais uniforme, maior expressão dos componentes de rendimento e associações consistentes entre características vegetativas e produtivas.

As análises indicaram que variáveis estruturais, como diâmetro do caule e altura de plantas, estiveram associadas aos componentes do rendimento, enquanto características fenológicas apresentaram comportamento mais independente, contribuindo para a compreensão da relação entre crescimento vegetativo e formação das vagens.

Em Lisboa, a caracterização descritiva revelou alterações expressivas no desempenho das mesmas linhagens, com maior heterogeneidade, alongamento do ciclo e redução dos componentes produtivos, possivelmente em função de condições edafoclimáticas menos favoráveis.

A comparação entre os ambientes evidenciou que a expressão dos caracteres morfoagronômicos depende tanto da constituição genética quanto das condições ambientais, reforçando a importância da avaliação em diferentes contextos para compreender o desempenho da cultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abranches, M. O., Silva, G. A. M., Tavares, Q. G., Paula, L. B., Santos, L. C. (2022) Efeito do uso de bioestimulantes na cultura do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). *Científica Rural*, Bagé, 14 (1): 1-11.
- Albuquerque, D. P. (2021) *Potencial de uma população F<sub>2</sub> de feijão-vagem para utilização em programas de melhoramento genético*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes, RJ, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 106p.
- Ambika; Aski, M. S.; Gayacharan; Hamwieh, A.; Talukdar, A.; Gupta, S. K.; Sharma, B. B.; Joshi, R.; Upadhyaya, H. D.; Singh, K.; Kumar, R. (2022) Unraveling origin, history, genetics, and strategies for accelerated domestication and diversification of food legumes. *Frontiers in Genetics*, 13 (932430): 1-21. DOI: 10.3389/fgene.2022.932430.
- Andrade, F. A.; Gonçalves, L. S. A.; Fukuji, A.; Miglioranza, E.; Takahashi, L. S. A.; Balbi-Peña, M. I.; Rodrigues, R. (2017) Snap beans for organic farming and evaluation of resistance to the common bacterial blight. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 35 (3): 385-389. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170311>.

- Aragão, W. F. L., Araújo, M. S., Santos, S. P., Lopes, A. F. S., Damasceno-Silva, K. J., Rocha, M. M. (2022) Agronomic and commercial potential of compound-inflorescence cowpea lines. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 57: 1-10.
- Araújo, K. C. (2019) *Avaliação de linhagens melhoradas de feijão-caupi (Vigna unguiculata L. Walp) na região noroeste fluminense para estudo de valor cultivado e uso*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes, RJ, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 114p.
- Araújo, L. B. R.; Pinheiro, M. D.; Fiege, L. B. B. C.; Bertini, C. H. C. M.; do Vale, J. C. (2019) Agronomic potential and genetic diversity of landraces of cowpea of the state of Ceará. *Revista Caatinga*, Mossoró, 32 (2): 698-708.
- Araújo, M. S. (2020) *Seleção simultânea para múltiplos caracteres, adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi no semiárido piauiense*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Teresina, PI, Universidade Federal do Piauí. 95p.
- Araújo, M. S.; Santos, S. P.; Aragão, W. F. L.; Silva-Damasceno, K. J.; Rocha, M. M. (2021) Selection of superior cowpea lines for multi-traits and adaptabilities to the Piauí semi-arid using genotype by yield\*trait biplot analysis. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 45 (e011921): 1-14.
- Arteaga, S.; Yabor, L.; Torres, J.; Solbes, E.; Muñoz, E.; Díez, M. J.; Vicente, O.; Boscaiu, M. (2019) Morphological and agronomic characterization of Spanish landraces of *Phaseolus vulgaris* L. *Agriculture*, 9 (7): 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture9070149>.
- Barbosa, E. S.; Carvalho, A. J.; Oliveira, S. M.; Barbosa, J. A. S. (2024) Desempenho agrônômico de linhagens de feijão “fradinho” no norte de Minas Gerais no período de 2016 a 2018. *Revista Caderno Pedagógico*, Curitiba, 21 (6): 01-15.
- Bertini, C. H. C.M.; Almeida, W. S.; Silva, A. P. M.; Silva, J. W. L.; Teófilo, E. M. (2010) Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, 32 (4): 613-619. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i4.4631.

- Bezerra, A. A. C.; Alcântara Neto, F.; Neves, A. C.; Maggioni, K. (2012) Comportamento morfoagronômico de feijão-caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, 55 (3): 184-189.
- Bezerra, A. A. C.; Neves, A. C.; Alcântara Neto, F.; Silva Júnior, J. V.; Costa, R. M.; Brito, L. C. R. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade da produção. In: Silva-Matos, R. R. S.; Oliveira, P. S. T.; Pereira, R. Y. F (org.). (2020) *Ciências agrárias: conhecimentos científicos e tecnológicos e difusão das tecnologias 2*. Ponta Grossa: Atena.
- Bezerra, A. A. C.; Távora, F. J. A. F.; Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q. (2009) Características de dossel e de rendimento em feijão-caupi ereto em diferentes densidades populacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 44 (10): 1239-1245.
- Borém, A.; Miranda, G. V. (2005) *Melhoramento de plantas*. 5. ed. Viçosa: Editora UFV. 529 p.
- Campos, M. L.; Lacerda, M. L.; Aspiazú, I.; Carvalho, A. J.; Silva, R. F. (2023) Weed interference periods in cowpea crop. *Revista Caatinga*, Mossoró, 36 (1): 1-8.
- Cardoso, M. J.; Melo, F. B.; Ribeiro, V. Q. (2018) Population density on cowpea cultivars with different growth habits in the Matopiba region. *Revista Caatinga*, Mossoró, 31 (1): 235-239.
- Cardoso, M. J.; Ribeiro, V. Q. (2006) Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamento entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, 37 (1): 102-105.
- Carvalho, A. V.; Gomes Junior, R. A.; Freitas, A.F.; Bassinello, P. Z.; Freire Filho, F. R. (2022) *Qualidade de novas cultivares de feijão-caupi durante o armazenamento*. Embrapa Amazônia Oriental. 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 157). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1145708/1/TC-11-21-BPD-V04.pdf>>. Acesso em: setembro de 2024.

- Carvalho, M., Matos, M., Castro, I., Monteiro, E., Rosa, E., Lino-Neto, T., Carnide, V. (2019) Screening of worldwide cowpea collection to drought tolerant at a germination stage. *Scientia Horticulturae*, Praga, 247: 107-115.
- Castro, E. B. L. (2025) *Estudo do microbioma da rizosfera de genótipos geneticamente distintos de feijão-caupi*. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Fortaleza, CE, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará. 48p.
- Cerutti, P. H.; Carbonari, L. T. S.; Benato, F. R.; Schwarzer, P. A.; Velho, H. S.; Nascimento, M.; Souza, L. S. (2021) Potencial agrônômico de linhagens de feijão para qualidade de sementes e rendimento de grão. *Revista de Ciências Agrárias*, 44 (4): 278-284. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.24613>.
- CONAB. (2026) Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2025/26. *Companhia Nacional de Abastecimento*, Brasília, 11 (04): 10. Disponível em: <[https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/4o-levantamento-safra-2025-26/e-book\\_boletim-de-safras-4o-levantamento\\_2026](https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/4o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-4o-levantamento_2026)>. Acesso em: janeiro de 2026.
- Cruz, C. D.; Carneiro, P. C. S. (2006) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Editora UFV. 406p.
- Cruz, D. P. (2021) *Adaptabilidade, estabilidade fenotípica e desenvolvimento de linhagens de feijão-caupi sob inoculação de *Bradyrhizobium pachyrhizi**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes, RJ, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 94p.
- d’Albuquerque, C. L. C. (2013) *Adaptabilidade e estabilidade produtiva e características tecnológicas de genótipos de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil*. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Jaboticabal, SP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 119p.
- Deretti, A. F. H.; Sangoi, L.; Martins Júnior, M. C.; Gularte, P. S.; Castagneti, V.; Leolato, L. S.; Kuneski, H. F.; Scherer, R. L.; Berkenbrock, J.; Duarte, L.; Nunes,

- M. S. (2022) Resposta de cultivares de soja à redução na densidade de plantas no planalto catarinense. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, 21 (2): 123-136.
- Ferreira, A. L. (2015) *Estudo de cultivares de feijão (Phaseolus coccineus L.) como potenciais porta-enxertos na cultura do feijão-verde (Phaseolus vulgaris L.)*. Dissertação (Mestrado em Agricultura Biológica) – Viana do Castelo, Instituto Politécnico de Viana do Castelo. 56p.
- Filgueira, F.A.R. (2013) *Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV, 421p.
- Florencio, V. H. R. (2017) *Caracterização de variedades cultivadas de soja de diferentes grupos de maturação em função dos atributos morfológicos, fenológicos e a produtividade*. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Piracicaba, SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Francelino, F. M. A.; Gravina, G. A.; Manhães, C. M. C.; Cardoso, P. M. R.; Araújo, L. C. (2011) Avaliação de linhagens de feijão-de-vagem para as regiões Norte e Noroeste Fluminense. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, 42 (2): 554-562. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200039>.
- Frascarelli, G.; Galise, T. R.; D’Agostino, N.; Cafasso, D.; Cozzolino, S.; Cortinovis, G.; Sparvoli, F.; Bellucci, E.; Di Vittori, V.; Nanni, L.; Pieri, A.; Rossato, M.; Vincenzi, L.; Banazzo, A.; Delledonne, M.; Bitocchi, E.; Papa, R. (2025) The evolutionary history of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) revealed by chloroplast and nuclear genomes analysis. *Theoretical and Applied Genetics*, 138: 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-025-04832-z>.
- Freire Filho, F. R. (ed. tec.). (2011) *Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios*. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 84p.
- Freire Filho, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: Araújo, J. P. P. Watt, E. E. (ed.). (1988) *O feijão-caupi: pesquisa, cultura e utilização*. Brasília, DF: Embrapa-CNPAF; Ibadan, IITA. p. 45-77.
- Freire Filho, F. R.; Lima, J. A. de A.; Ribeiro, V. Q. (Org.). (2005) *Feijão-caupi: avanços tecnológicos*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 519p.

- Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Rodrigues, J. E. F.; Vieira, P. F. M. J. A cultura: aspectos socioeconômicos. In: Vale, J. C.; Bertini, C.; Borém, A (ed). (2017) *Feijão-caupi, do plantio à colheita*. Viçosa: UFV. 267p.
- Garcia, G. C., Romeiro, E. R., de Oliveira Matoso, A., & de Oliveira, G. M. (2024). Desempenho produtivo de linhagens e cultivares de feijão-caupi cultivados no período da segunda safra em Fernandópolis–SP. *Seven Editora*, 318-331.
- Gerrano, A. S.; Adebola, P. O.; Jansen van Rensburg, W. S.; Laurie, S. M. (2015) Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. *South African Journal of Plant and Soil*, 32 (3): 165-174. DOI: 10.1080/02571862.2015.1014435.
- Gerrano, A. S.; Thungo, Z. G.; Mavengahama, S. (2022) Phenotypic description of elite cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes grown in drought-prone environments using agronomic traits. *Heliyon*, 8 (e08855): 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08855>.
- Gomes, G. R.; Moritz, A.; Freiria, G. H.; Furlan, F. F.; Takahashi, L. S. A. (2016) Desempenho produtivo de genótipos de feijão-vagem arbustivo em dois ambientes. *Scientia Agropecuaria*, 7 (2): 85-92. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.01>.
- Goulart, G. R.; Cordeiro, J.; Shimada, B. S. (2022) Influência da densidade de plantas sobre a produção do feijão-vagem em cultivo protegido. *Research, Society and Development*, Vargem Grande Paulista, 11 (16): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.37812>.
- Hiolanda, R.; Machado, D. H.; Candido, W. J.; Faria, L. C.; Dalchiavon, F. C. (2018) Desempenho de genótipos de feijão carioca no Cerrado Central do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 41 (3): 815-824. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17285>.
- Hongyu, K. (2015) *Comparação do GGE biplot-ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo x ambiente*. Tese (Doutorado em Ciências) – Piracicaba, SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 154p.

- Hongyu, K.; Sandinielo, V. L. M.; Oliveira Junior, G. J. (2016) Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicações e interpretação. *E & S Engineering and Science*, Cuiabá, 5 (1): 83-90. DOI: 10.18607/ES20165053.
- Hora, R. C.; Camargo Junior, O. A.; Buzanini, A. C. (2018) Cucurbitáceas e outras. In: Brandão Filho, J. U. T.; Freitas, P. S. L.; Berian, L. O. S.; Goto, R. (org.). (2018) *Hortaliças-fruto*. Maringá: Eduem. p. 71-109.
- IPGRI. *Descritores para Phaseolus vulgaris*. Roma: International Plant Genetic Resources Institute. 45p. (Tradução e adaptação para a língua portuguesa).
- IMPA. (2026) Clima de Portugal continental. *Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. Disponível em: <<https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>>. Acesso em: fevereiro de 2026.
- Krause, W.; Rodrigues, R.; Lea, N. R. (2012) Capacidade combinatória para características agronômicas em feijão-vagem. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, 43 (3): 522-531. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300015>.
- Loko, L. E. Y.; Orobiyi, A.; Adjatin, A.; Akpo, J.; Toffa, J.; Djetadin, G.; Dansi, A. (2018) Morphological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces of Central region of Benin Republic. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 10 (11): 304-318.
- Lopes, A. F. S., Aragão, W. F. L., Damasceno-Silva, K. J., Rocha, M. M. (2023) Selection of superior cowpea lines derived from local cultivars for the Brazilian semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 58: 1-9.
- Lopes, D. J. H. (Coord.) (2020) *Produção de hortícolas em modo de produção biológico: fichas de cultura*. Ilha Terceira: Universidade dos Açores. 162p.
- Maciel, A. C. R. (2024) *Diversidade genética em acessos de feijão-caupi*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Mossoró, RN, Universidade Federal Rural do Semiárido. 71p.
- MacQueen, A. H.; White, J. W.; Lee, R.; Osorno, J. M.; Schmutz, J.; Miklas, P. N.; Myers, J.; McClean, P. E.; Juenger, T. E. (2020) Genetic Associations in four decades of multienvironment trials reveal agronomic trait evolution in common

bean. *Genetics*, 215 (1): 267-284. DOI: <https://doi.org/10.1534/genetics.120.303038>.

Mariguele, K. H., Maluf, W. R., Gomes, L. A. A., Lopes, M. J. C., Melo, O. D. (2008) Controle genético da qualidade da vagem em cruzamento de feijão-vagem e feijão-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 43 (1): 47-52. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000100007>.

Martins, M. P. S. C., Lopes, A. F. S., Jean, A., Damasceno-Silva, K. J., Martins, M. C. C., Rocha, M. M. (2023) Characterizations of cowpea cultivars for grain size, color, and biofortification. *Revista Caatinga*, Mossoró, 36 (1): 207-214.

Martins, S. C.; Silveira, M. V.; Araújo, E. O.; Cota, A. F. (2024) Variabilidade morfoagronômica de variedades tradicionais de feijão-caupi na Amazônia. *Peer Review*, 6 (15): 122-141.

Melo, R. A. (2010) Caracterização morfoagronômica e molecular, processamento mínimo e utilização de raios X em sementes de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. Tese (Doutorado em Ciências/Fitotecnia) – Piracicaba, SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 102p.

Mohammed, S. B.; Ongom, P. O.; Togola, A.; Boukar, O. (2024) Enhancing cowpea tolerance to elevated temperature: achievements, challenges and future directions. *Agronomy*, 14 (513): 3-29. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030513>.

Monteiro, M. M. S.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Andrade Júnior, A. S.; Ribeiro, V. Q. (2017) Effect of water regimes and plant densities on cowpea production. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 47 (4): 432-439.

Motta, N. L. (2022) *Ecofisiologia e produtividade de cultivares de feijão-caupi (Vigna unguiculata L. Walp) sob diferentes turnos de rega*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes, RJ, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 109p.

- Moura, J. Z., Pádua, L. E. M., Moura, S. G., Torres, J. S., Ramalho e Silva, P. R. (2012) Escala de desenvolvimento fenológico e exigência térmica associada a graus-dias do feijão-caupi. *Revista Caatinga*, Mossoró, 25 (3): 66-71.
- Nicoletto, C.; Zanin, G.; Sambo, P.; Costa, L. D. (2019) Quality assessment of typical common bean genotypes cultivated in temperate climate conditions and different growth locations. *Scientia Horticulturae*, 256 (108599): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108599>.
- Oliveira, A. P.; Tavares Sobrinho, J.; Nascimento J. T.; Alves, A. U.; Albuquerque, I. C.; Bruno, G. B. (2002) Avaliação de linhagens e cultivares de feijão-caupi, em Areia, PB. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 20 (2): 180-182.
- Oliveira, B. S. (2015) *Diversidade genética, produção e qualidade fisiológica de sementes de genótipos arbustivos de feijão-vagem*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Ipameri – GO, Universidade Estadual de Goiás. 62p.
- Oliveira, T. R. A. (2019) *Análise biplot no desempenho de feijão-vagem e na inoculação de *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL5*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Campos dos Goytacazes, RJ, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 55p.
- Oliveira, T. R. A.; Gravina, G. A.; Oliveira, G. H. F.; Araújo, K. C.; Araújo, L. C.; Daher, R. F.; Vivas, M.; Gravina, L. M.; Cruz, D. P. (2018) The GT biplot analysis of green bean traits. *Ciência Rural*, Santa Maria, 48 (6): 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170757>.
- Paes, H. M., Esteves, B. S., Sousa, E. F. (2012) Determinação da demanda hídrica do quiabeiro em Campos dos Goytacazes, RJ. *Ciência Agronômica*, Fortaleza, 43 (2): 256-261.
- Paese, C.; ten Cate, C.; Ribeiro, J. L. D. (2001) Aplicação da análise de variância na implantação do CEP. *Revista Produção*, 11 (1): 17-26.
- Pavlovic, P.; Colquhoun, J. B.; Korres, N. E.; Liu, R.; Lowry, C. J.; Peachey, E.; Scott, B.; Sosnoskie, L. M.; VanGessel, M. G.; Williams II, M. M. (2025) Crop and weed management practices of snap bean (*Phaseolus vulgaris*) production Fields in the

- United States. *HortScience*, 60 (3): 267-272. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI18254-24>.
- Peixoto, N., Cardoso, A. I. I. Feijão-vagem. *In*: Nascimento, W. M (ed. téc.). (2016) *Hortaliças leguminosas*. Brasília: Embrapa. 322p.
- Peixoto, N.; Braz, L. T.; Banzatto, D. A.; Oliveira, A. P. (2002) Adaptabilidade e estabilidade em feijão-vagem de crescimento indeterminado. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 20 (4): 616-618. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000400021>.
- Pereira, I. M. (2023) *Avaliação de linhagens de feijão-vagem em ensaios de VCU e DHE via análise GGE biplot, Alegre – ES*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes, RJ, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 67p.
- Pimenta, L. J. L.; Santos, S. R.; Bernardino, D. L. M. P.; Barbosa, J. A. E.; Alves, A. G. T.; Carvalho, A. J. (2023) Produtividade e eficiência do uso da água de cultivares do feijão-caupi sob irrigação por gotejamento. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, 16 (11): 26504-26522.
- Pinheiro, C.; Baeta J. P.; Pereira, A. M.; Domingues, H.; Ricardo, C. P. (2010) Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germplasm. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 319-325. DOI: 10.1016/j.jfca.2010.01.005.
- Públio Júnior, E.; Moraes, O. M.; Rocha, M. M.; Públio, A. P. P. B.; Bandeira, A. S. (2017) Características agrônômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados no sudoeste da Bahia. *Científica*, Jaboticabal, 45 (3): 223-230.
- Ramos Junior, E. U.; Lemos, L. B.; Silva, T. R. B. (2005) Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. *Bragantia*, Campinas, 64 (1): 75-82. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000100008>.
- Rather, M. A.; Lone, A. A.; Dar, Z. A.; Fayaz, S.; Mir, B. A.; Peer, L. A. (2024) Comprehensive morphological characterization of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes for enhanced breeding programs in Jammu and Kashmir.

*Current Agriculture Research Journal*, 12 (3): 1257-1267. DOI: <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.12.3.20>.

Rendón-Anaya, M.; Montero-Vargas, J. M.; Saburido-Álvarez, S.; Vlasova, A.; Capella-Gutierrez, S.; Ordaz-Ortiz, J. J.; Mario Aguilar, O.; Vianello-Brondani, R. P.; Santalla, M.; Delaye, L.; Gabaldón, T.; Gepts, P.; Winkler, R.; Guigó, R.; Delgado-Salinas, A.; Herrera-Estrella, A. (2017) Genomic history of the origin and domestication of common bean unveils its closest sister species. *Genome Biology*, 18 (60): 1-17. DOI: 10.1186/s13059-017-1190-6.

Rodrigues, C. M. P. (2022) *Produção e certificação de semente de feijão, Phaseolus vulgaris L., em Portugal*. Relatório de Estágio Profissional (Mestrado em Engenharia Agrônômica), Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa. 42p.

Sant'Anna, C. Q. S. S., Gravina, G. A., Cruz, D. P., Oliveira, T. R. A., Gravina, L. M., Gomes, A. B. S., Entringer, G. C., Vivas, M., Daher, R. F., Araújo, K. C., Silva, M. G. M. (2019) Snap bean cultivar UENF Goytacá: a new choice for small farmers. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 37 (2): 239-242. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190217>.

Sant'Anna, C. Q. S. S.; Oliveira, T. R. A.; Gravina, G. A.; Cruz, D. P.; Gomes, A. B. S.; Daher, R. F.; Vivas, M.; Oliveira, G. H. F.; Entringer, G. C.; Coelho, F. C. (2020) Distinctness, uniformity and stability and GT biplot tests for the selection of snap bean lines. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 38 (4): 370-377. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620200405>.

Santana, S. R.; Medeiros, J. E.; Anunciação Filho, C. J.; Silva, F. W.; Costa, A. F.; Bastos, G. Q. (2019) Genetic divergence among cowpea genotypes by morphoagronomic traits. *Revista Caatinga*, Mossoró, 32 (3): 841-850.

Sinoia, E. F. V. M. (2024) Avaliação do desempenho agronômico de feijão-verde (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a diferentes compassos nas condições edafoclimáticas de Cuamba. Trabalho Final (Licenciatura em Agronomia) – Cuamba, Niassa, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Católica de Moçambique. 73p.

- Shojaei, S. H.; Ansarifard, I.; Mostafavi, K.; Bihamta, M. R.; Zab, M. (2022) GT biplot analysis for yield related traits in some sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10: 100370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100370>.
- Silva Júnior, J. S.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Andrade Junior, A. S.; Ribeiro, V. Q. (2020) Production performance of BRS Tumucumaque cowpea under different plant densities and water regimes. *Revista Caatinga*, Mossoró, 33 (1): 205-216.
- Silva, J. A. L.; Neves, J. A. (2011) Produção de feijão-caupi semiprostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, 6 (1): 29-36.
- Silva, M. A. D., Lopes, L. M., Sousa, A. H., Faroni, L. R. A., Brito, R. S., Lima, M., Andrade, R. A. (2024) Storage and quality of landrace cowpea grains stores in silo bags. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, 28 (11): 01-10.
- Silva, Y. M. (2022) *Desempenho morfoagronômico de cultivares de feijão-caupi (Vigna unguiculata L.) no centro-norte do Espírito Santo*. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Santa Teresa, ES, Instituto Federal do Espírito Santo. 43p.
- Singh, S. P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Singh, R. J. & Jauhar, P. P. (ed.). (2005) *Genetic resources, chromosome, engineering, and crop improvement: grain legumes*. Boca Raton: CRC Press. v. 1, p. 11-48.
- Souza, S. M. S. (2016) *Variabilidade morfoagronômica de variedades tradicionais de feijão-caupi do Acre*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Rio Branco, AC, Universidade Federal do Acre. 68p.
- Souza, T. V.; Ribeiro, C. M.; Scalon, J. D.; Guedes, F. L. (2014) Relações entre componentes de rendimento e características morfológicas de milho. *Magistra*, Cruz das Almas, 26 (4): 493-504.
- Santalla, M.; Rodiño, A. P.; De Ron, A. M. (2001) Allozyme evidence supporting southwestern Europe as a secondary center of genetic diversity for the common bean. *Theoretical and Applied Genetics*, 104: 934–944. DOI: 10.1007/s00122-001-0844-6.

- Stansluos, A. A. L.; Öztürk, A.; Niedbala, G.; Türkoğlu, A.; Haliloğlu, K.; Szulc, P.; Omrani, A.; Wojciechowski, T.; Piekutowska, M. (2023) Genotype-Trait (GT) biplot analysis for yield and quality stability in some Sweet corn (*Zea mays* L. *saccharata* Sturt.) genotypes. *Agronomy*, 13 (1538): 1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061538>.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2013) *Fisiologia Vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed. 954p.
- Timko, M. P.; Singh, B. B. (2008) Cowpea, a multifunctional legume. In: Moore, O. H.; Ming, R. (ed.). *Genomics of tropical crop plants*. New York: Springer. p. 227-258.
- Tomaz, F. L. S.; Araújo, L. B. R.; Magalhães, H. C.; Vale, J. C.; Mano, A. R. O.; Rocha, M. M. (2022) Indication of cowpea cultivars for the production of dry grain in the state of Ceará. *Ciência Agrônômica, Fortaleza*, 53 (e20207802): 1-12.
- Tomooka, N.; Naito, K.; Kaga, A.; Sakai, H.; Isemura, T.; Ogisotanaka, E.; Iseki, K.; Takahashi, Y. (2014) Evolution, domestication and neo-domestication of the genus *Vigna*. *Plant Genetic Resources*, 12 (2): 168-171.
- Torres Filho, J., Oliveira, C. N. G. S., Silveira, L. M., Nunes, G. H. S., Silva, A. J. R., Silva, M. F. N. (2017) Genotype by environment interaction in green cowpea analyzed via mixed models. *Revista Caatinga, Mossoró*, 30 (3): 687-697.
- Torres, F. E., Teodoro P. E., Sagrilo, E., Ceccon, G., Correa, A. M. (2015) Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. *Bragantia, Campinas*, 74 (3): 255-260.
- Trani, P. E., Passos, F. A., Pereira, J. E., Semis, J. B. (2015) *Calagem e adubação do feijão-vagem, feijão-fava (ou fava italiana), feijão-de-lima e ervilha torta (ou ervilha-de-vagem)*. Campinas: IAC. 15p.
- Vaz, D. C. (2014) *Avaliação agrônômica e divergência genética em feijão-vagem arbustivo*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Ipameri, GO, Unidade Universitária de Ipameri, Universidade Estadual de Goiás. 46p.
- Vaz, D. C.; Morais Júnior, O. P.; Peixoto, N. (2017) Agro-morphological characterization and genetic divergence assessment in bush snap bean

- genotypes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 47 (2): 134-144. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4743525>.
- Vidal, V. L.; Junqueira, A. M. R.; Peixoto, N.; Moraes, E. A. (2007) Desempenho de feijão-vagem arbustivo, sob cultivo orgânico em duas épocas. *Horticultura Brasileira*, 25 (1): 010-014.
- Wang, X.; Wu, J.; Xia, S.; Li, J.; Liang, Q.; Xie, J.; Wu, S. (2026) Transcriptomic and metabolomic insights into the mechanisms of pest resistance in cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Plant Stress*, 19 (101240): 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2026.101240>.
- Xavier, G. R.; Martins, L. M. V.; Rumjanek, N. G.; Freire Filho, F. (2005) Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 40 (4): 353-359. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400006>.
- Yan, W.; Rajcan, I. (2002) Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42: 11-20.
- Yang, R. C.; Crossa, J.; Cornelis, P. L.; Burgueño. (2009) Biplot analysis of genotype x environment interaction: proceed with caution. *Crop Science*, 49: 1564-1576. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228347720\\_Biplot\\_Analysis\\_of\\_Genotype\\_and\\_Environment\\_Interaction\\_Proceed\\_with\\_Cautio](https://www.researchgate.net/publication/228347720_Biplot_Analysis_of_Genotype_and_Environment_Interaction_Proceed_with_Cautio)>. Acesso em: 25 set. 2024.
- Zilio, M.; Coelho, C. M. M.; Souza, C. A.; Santos, C. P.; Miquelluti, D. J. (2011) Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, 42 (2): 429-438.
- Zilio, M.; Souza, C. A.; Coelho, C. M. M.; Miquelluti, D. J.; Michels, A. F. (2013) Cycle, canopy architecture and yield of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris*) in Santa Catarina State. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, 35 (1): 21-30. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i1.15516>.