

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**Aldenir Teixeira da Gama**

**Desempenho agrônomo, divergência genética, fenotipagem de alta eficiência e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro**

**Montes Claros**

**2020**

**Aldenir Teixeira da Gama**

**Desempenho agrônomo, divergência genética, fenotipagem de alta eficiência e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

**Orientador:** Delacyr da Silva Brandão Junior

**Coorientador:** Cândido Alves da Costa

Montes Claros  
Fevereiro de 2020

Gama, Aldenir Teixeira da

G184d  
2020

Desempenho agronômico, divergência genética, fenotipagem de alta eficiência e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro / Aldenir Teixeira da Gama. Montes Claros, 2020.

87 f.: il.

Tese (doutorado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Delacyr da Silva Brandão Junior

Banca examinadora: Alcinei Místico Azevedo, Danúbia Aparecida Costa Nobre, Marcia Martins, Nilza de Lima Pereira Sales, Delacyr da Silva Brandão Junior.

Inclui referências.

1. Feijão. 2. Agrobiodiversidade. 3. Biologia computacional. I. Brandão Junior, Delacyr da Silva. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 633.35



### ATA DE DEFESA DE TESE

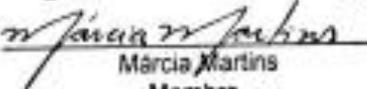
Aos 03 dias do mês de fevereiro de 2020, às 09:00 horas, sob a Presidência do Professor Delacyr da Silva Brandão Júnior, D. Sc. (ICA/UFMG) e com a participação dos Professores Alcinei Místico Azevedo, D. Sc. (ICA/UFMG), Márcia Martins, D. Sc. (ICA/UFMG), Níza de Lima Pereira Sales, D. SC. (ICA/UFMG) e Danúbia Aparecida Costa Nobre, D. Sc. (UFVJM), reuniu-se a Banca de tese de **ALDENIR TEIXEIRA DA GAMA**, aluna do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de tese intitulada: "Desempenho agronômico, divergência genética, fertiparidade de alta eficiência e qualidade de sementes de variedades circulares de feijão-fava cultivadas no semiárido norte mineiro", sendo a aluna considerada (aprovado/reprovado) APROVADO. E, para constar, eu, Professor Delacyr da Silva Brandão Júnior, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

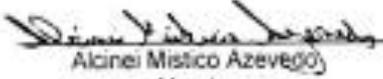
OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do **ARTIGO 68** do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

**Art. 68** Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

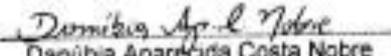
Montes Claros, 03 de fevereiro de 2020.

  
Delacyr da Silva Brandão Júnior  
Orientador

  
Márcia Martins  
Membro

  
Alcinei Místico Azevedo  
Membro

  
Níza de Lima Pereira Sales  
Membro

  
Danúbia Aparecida Costa Nobre  
Membro

**Aldenir Teixeira da Gama**

**Desempenho agronômico, divergência genética, fenotipagem de alta eficiência e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro**

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Alcinei Místico Azevedo  
ICA-UFMG

Profa. Dra. Danúbia Aparecida Costa Nobre  
UFVJM

Profa. Dra. Marcia Martins  
ICA-UFMG

Profa. Dra. Nilza de Lima Pereira Sales  
ICA-UFMG

---

Prof. Dr. Delacyr da Silva Brandão Júnior  
Orientador ICA-UFMG

Montes Claros, 03 de fevereiro de 2020.

*Aos meus pais, Raimunda e Antenor, por todo o amor,  
carinho e incentivo ao longo de minha caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de toda a sabedoria por mais uma conquista.

Às minhas irmãs Aldair e Aldeir, à minha sobrinha Anielly e ao meu cunhado Francisco pelo apoio incondicional.

Ao meu orientador Delacyr Brandão pelo conhecimento, conselhos, boa energia, dedicação, bom humor, um exemplo de profissional e sobretudo de ser humano.

Ao Victor pela atenção, amizade e ajuda de sempre. Sua contribuição foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

Às minhas amigas Juliana, Gislaine, Fabiana, Flávia que, mesmo distantes, estavam sempre presentes.

Às queridas pessoas com quem tive o prazer de conviver no ICA nesta caminhada, Márcia, Nilza, Adriana, Letícia, Júlia e Fred.

À Sibebe, Gilmar, Cida e ao João pelo apoio.

À Josi pelo carinho, conversas e amizade.

À Janine e Mel pela convivência.

Ao professor Alcinei pela disponibilidade e ajuda na análise dos dados.

Ao grupo de estudos SEMENTEC pelo suporte.

Ao Instituto de Ciências Agrárias/ UFMG pelo acolhimento durante todo o período de pós-graduação.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

E a todos que contribuíram de alguma forma para o andamento deste trabalho.

Obrigada!

## **Desempenho agronômico, divergência genética, fenotipagem de alta eficiência e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro**

### **RESUMO**

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), espécie adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido norte mineiro e suas sementes se caracterizam pela diversidade formas, tamanhos e cores de tegumento, sendo melhoradas, conservadas e mantidas pelos guardiões da agrobiodiversidade, em casas e bancos de sementes ao longo da história, representando um patrimônio genético e cultural. É de grande importância na alimentação humana e animal como fonte de proteína. O presente estudo teve por objetivo caracterizar quinze variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) cultivadas no semiárido norte mineiro quanto à qualidade de sementes, desempenho agronômico, divergência genética e fenotipagem por imagens. As sementes foram obtidas de casas e bancos de sementes oriundas do Norte de Minas Gerais. O primeiro capítulo foi composto por uma revisão bibliográfica. O segundo capítulo contempla a caracterização das variedades crioulas de feijão-fava com a utilização de descritores morfoagronômicos e a qualidade das sementes. Os resultados obtidos evidenciaram uma ampla variabilidade na qualidade física e fisiológica das sementes. As variedades 3 e 6 (identificadas por fava-raja e fava-carioca, respectivamente), apresentaram resultados dos testes de primeira contagem da germinação e de germinação incompatíveis com resultados de campo. As variedades de feijão-fava foram estratificadas pelas variáveis diâmetro do hipocótilo e comprimento e largura do folíolo. A variável largura apresentou correlação com a produtividade de grãos, no entanto a produtividade não apresentou correlação com a qualidade de sementes. No terceiro capítulo, foi realizada a caracterização e seleção das variedades, para fornecer subsídios a programas de melhoramento genético da espécie e, para a sua preservação, em casas e bancos de sementes. Foram avaliadas variáveis qualitativas e quantitativas por análise multivariada. Os resultados encontrados apresentaram variabilidade genética. Nas variáveis quantitativas, os dois primeiros componentes principais permitiram explicar 65,21% da variância contida nas variáveis originais; as variáveis mais representativas foram a forma da semente e o comprimento do cacho encontrados nos componentes principais 1 e 2, respectivamente. Os dendrogramas obtidos pelo método UPGMA apresentaram alta confiabilidade, para as variáveis quantitativas e, na análise conjunta, formando dois grupos dissimilares em cada análise, sendo as variedades 3 e 6 as mais dissimilares. Para as variáveis qualitativas, houve a formação de três grupos, a partir do dendrograma, apresentando porém um baixo coeficiente de correlação cofenética. No quarto capítulo, objetivou-se estudar a dissimilaridade de quinze variedades crioulas de feijão-fava, por meio de imagens digitais, utilizando técnicas de visão computacional e inteligência artificial com a utilização do software R. Com os resultados obtidos, foi possível avaliar a fenotipagem por análise de imagens das sementes de maneira rápida e fácil, para avaliar a diversidade genética das variedades. A predição do peso das sementes foi possível com a utilização de quatro variáveis na camada de entrada e cinco neurônios na camada oculta, sendo o comprimento variável de maior contribuição, analisado por redes neurais artificiais. A análise dos componentes principais revelou que os dois primeiros componentes principais explicaram 78,82% da variação total dos dados.

**Palavras-chave:** Feijão-fava. Variedades crioulas. Descritores morfoagronômicos. Guardiões da agrobiodiversidade. Análise computacional de imagens. Fenômica.

# AGRONOMIC PERFORMANCE, GENETIC DIVERGENCE, HIGH EFFICIENCY PHENOTYPING AND SEED QUALITY OF NATIVE FAVA BEAN VARIETIES GROWN IN THE SEMI-ARID CLIMATE IN THE NORTH OF THE STATE OF MINAS GERAIS

## ABSTRACT

The fava bean (*Phaseolus lunatus* L.) species adapted to the edaphoclimatic conditions of the semi-arid north of Minas Gerais and its seeds are characterized by the diversity of shapes, sizes and colors of the tegument, being improved, conserved and maintained by the guardians of agrobiodiversity in houses and seed banks throughout history, representing a genetic and cultural heritage. It is of great importance in human and animal nutrition as a source of protein. The present study aimed to characterize fifteen native varieties of fava beans (*Phaseolus lunatus* L.) cultivated in the semiarid north of Minas Gerais in terms of seed quality, agronomic performance, genetic divergence and phenotyping by images. The seeds were obtained from houses and seed banks from the North of Minas Gerais. The first chapter consisted of a bibliographic review. The second chapter contemplates the characterization of the creole varieties of fava beans with the use of morpho-agronomic descriptors and the quality of the seeds. The results obtained show a wide variability in the physical and physiological quality of the seeds, varieties 3 and 6 (identified by raja beans and carioca beans, respectively), presented results of the first germination and germination count tests incompatible with field results. The bean varieties were stratified by the variables of the hypocotyl diameter and length and width of the leaflet. The width variable showed a correlation with grain yield, however productivity did not correlate with seed quality. In the third chapter, the characterization and selection of varieties was carried out to provide subsidies for genetic improvement programs for the species and for their preservation in houses and seed banks. Qualitative and quantitative variables were evaluated by multivariate analysis. The results found showed genetic variability. In the quantitative variables, the first two main components allowed to explain 65.21% of the variance contained in the original variables, the most representative variables were the shape of the seed and the length of the cluster found in the main components 1 and 2 respectively. The dendrograms obtained by the UPGMA method showed high reliability for the quantitative variables and in the joint analysis forming two dissimilar groups in each analysis, with varieties 3 and 6 being the most dissimilar. For the qualitative variables, three groups were formed from the dendrogram showing, however, a low coenetic correlation coefficient. The fourth chapter aimed to study the dissimilarity of fifteen native varieties of fava beans using digital images using computer vision and artificial intelligence techniques using the software R. With the results obtained, it was possible to evaluate phenotyping by image analysis of seeds in a quick and easy way to evaluate the genetic diversity of varieties, the prediction of seed weight was possible with the use of four variables in the input layer and five neurons in the hidden layer, with the variable length being the greatest contribution, analyzed by artificial neural networks. The analysis of the main components revealed that the first two main components explained 78.82% of the total variation of the data.

**Keywords:** Fava beans. Native varieties. Morpho-agronomic descriptors. Guardians of agrobiodiversity. Computational image analysis. Phenomics.

## LISTA DE FIGURAS

<b>4.1 Artigo 1 – Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro.....</b>	<b>28</b>
Fig. 1. Dados meteorológicos de valores médios de temperatura, umidade e precipitação em Montes Claros no ano de 2018.....	33
Fig. 2. Dados meteorológicos de valores médios de velocidade do vento e radiação solar em Montes Claros no ano de 2018.....	33
Fig. 3. Imagem das quinze variedades de sementes crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas.....	36
Fig. 4. Correlação de Pearson para qualidade de sementes significativa pelo teste de t ( $P \leq 0.05$ ) de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas. PCS: peso de 100 sementes em g; TA: teor de água em %; G: Germinação em %; PC: primeira contagem de germinação em %; IVE: índice de velocidade de emergência; EF: emergência final em %; MSS: matéria seca de sementes em g e MSP: matéria seca de plântulas em g; P: produtividade de grãos em $\text{kg ha}^{-1}$ .....	38
Fig. 5. Correlação estimada de Pearson significativa pelo teste de t ( $P \leq 0.05$ ) de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas. AH: altura, DH: diâmetro do hipocótilo, CF: comprimento do folíolo, LF: largura do folíolo, CoV: comprimento da vagem, LaV: largura da vagem, SPV: sementes por vagem, InFlo: início do florescimento, InFrut: início da frutificação, P: produtividade de grãos .....	43
<b>4.2 Artigo 2 – Diversidade genética de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro.....</b>	<b>47</b>
Fig. 1. Variedades crioulas de feijão-fava oriundas dos bancos de sementes procedentes do Norte de Minas.....	50
Fig. 2 – Dispersão gráfica dos dois componentes principais obtidos, a partir de variáveis quantitativas de variedades crioulas de feijão-fava, procedentes do Norte de Minas Gerais.....	56
Fig. 3. Dendrograma obtido pelo algoritmo UPGMA para a representação gráfica da matriz de dissimilaridade pela distância Euclidiana Média obtida, a partir de variáveis quantitativas de quinze variedades de feijão-fava, procedentes do Norte de Minas.....	57
Fig. 4. Dendrograma obtido pelo algoritmo UPGMA, para a representação gráfica da matriz de dissimilaridade pela distância Euclidiana Média obtida, a partir de variáveis qualitativas, avaliadas em quinze variedades de feijão-fava, procedentes do Norte de Minas.....	59
Fig. 5. Dendrograma obtido pelo método hierárquico UPGMA, para a representação gráfica da matriz, utilizando a distância Euclidiana Média como medida de dissimilaridade obtida, a partir da análise conjunta dos dados qualitativos e quantitativos, em quinze variedades de feijão-fava procedentes do Norte de Minas .....	60

<b>4.3 Artigo 3 – Fenotipagem de alta eficiência na dissimilaridade de variedades crioulas de feijão-fava.....</b>	<b>65</b>
Fig. 1. Variedades crioulas de feijão-fava oriundas dos bancos de sementes do Norte de Minas.....	68
Fig. 2. Estúdio fotográfico (A) Parte externa do estúdio, (B) Região interna do estúdio .....	69
Fig. 3. Fluxograma das etapas realizadas a partir da obtenção das imagens referentes à segmentação e extração de dados biométricos e colorimétricos .....	70
Fig. 4. Etapas realizadas a partir da obtenção das imagens para a extração de atributos de sementes de feijão-fava: (A) paleta de tons de azul, (B) paletas com tons claros das sementes, (C) paletas com tons escuros das sementes, (D) imagem obtida das sementes, (E) imagem segmentada separando o fundo e o objeto de imagem, (F) sementes com valores em RGB correspondentes .....	71
Fig. 5. Dispersão gráfica dos valores observados (manual) e estimados pela análise de imagens para o comprimento (a e b), largura (c e d) e peso (e e f) de sementes de feijão-fava. (a, c, e) valores individuais em nível de semente e (b, d, f) valores médios em nível de genótipos.....	74
Fig. 6. Arquitetura das redes neurais artificiais utilizadas na predição do peso de sementes (a) e importância relativa (%) das variáveis de entrada estimados pelo método de Garson (b) .....	75
Fig. 7. Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais obtidos, a partir de características quantitativas e colorimétricas, extraídas pela análise computacional de imagens de sementes de variedades crioulas de feijão-fava .....	79

## LISTA DE TABELAS

<b>4.1 Artigo 1 – Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro.....</b>	<b>28</b>
Tabela 1 – Identificação das sementes das variedades de sementes crioulas de feijão-fava obtidas de bancos de sementes dos municípios localizados na região Norte do estado de Minas Gerais .....	30
Tabela 2 – Análise do solo para a caracterização química, física e classificação textural da área experimental no ICA/UFMG Montes Claros .....	32
Tabela 3 – Valores médios germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), peso de 100 sementes (PCS), tamanho das sementes (T Sem), teor de água (TA), matéria seca de sementes (MSS), matéria seca de plântulas (MSP), índice de velocidade de emergência (IVE) e emergência final de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas .....	35
Tabela 4 – Médias das variáveis altura (AH) e diâmetro do hipocótilo (DH), comprimento (CF) e largura do folíolo (LF) de quinze variedades crioulas de feijão-fava de casas de sementes do Norte de Minas...	40
Tabela 5 – Médias das variáveis comprimento da vagem (CoV), largura da vagem (LaV), número de sementes por vagem (NSPV), início do florescimento (InFlo), início da frutificação (InFrut), produtividade de grãos (P) de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas .....	41
<b>4.2 Artigo 2 – Diversidade genética de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro.....</b>	<b>47</b>
Tabela 1- Atributos químicos e físicos do solo da área experimental .....	51
Tabela 2 – Análise de variância de variáveis quantitativas de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes do Norte de Minas .....	54
Tabela 3 – Autovetores associados a cada variável, obtidos na análise de componentes principais de quinze variedades crioulas de feijão fava, procedentes do Norte de Minas Gerais.....	55
Tabela 4 – Estimativa da correlação de Pearson entre as matrizes de dissimilaridade, considerando dados quantitativos, qualitativos e análise conjunta, em 15 variedades crioulas de feijão-fava procedentes do Norte de Minas .....	61
<b>4.3 Artigo 3 – Fenotipagem de alta eficiência na dissimilaridade de variedades crioulas de feijão-fava.....</b>	<b>65</b>
Tabela 1 – Caracterização biométrica de sementes de variedades crioulas feijão-fava procedentes do Norte de Minas por análise de imagens.....	76
Tabela 2 – Caracterização colorimétrica do tegumento das sementes de variedades crioulas de feijão-fava por análise de imagens.....	77
Tabela 3 – Estimativa de correlação entre as características quantitativas avaliadas e os dois componentes principais de variedades crioulas de feijão-fava .....	78

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1	Objetivo Geral .....	14
2.2	Objetivos Específicos .....	14
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
3.1	Feijão-fava .....	15
3.2	Centros de origem <i>Phaseolus lunatus</i> L.....	17
3.3	Sementes Crioulas .....	18
3.4	Conservação e resgate de recursos genéticos.....	18
3.5	Caracterização Morfológica e Agronômica.....	20
3.6	Qualidade das sementes .....	20
3.7	Fenotipagem de larga escala.....	21
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>ARTIGOS .....</b>	<b>28</b>
4.1	Artigo 1 – Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro.....	28
4.2	Artigo 2 – Diversidade genética de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro .....	47
4.3	Artigo 3 – Fenotipagem de alta eficiência na dissimilaridade de variedades crioulas de feijão-fava .....	65
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES/ CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>83</b>
	ANEXO A – Algoritmo para a individualização das sementes, sendo t2 a matriz com as coordenadas das sementes (valores 0 para fundo e 1 para semente).....	84
	ANEXO B – Algoritmo para a obtenção do contorno das sementes sendo t a matriz com as coordenadas das sementes .....	86
	ANEXO C – Algoritmo para a obtenção do comprimento e largura de cada semente, sendo t a matriz de coordenadas das sementes .....	87

## 1 INTRODUÇÃO

A espécie *Phaseolus lunatus* L., conhecida popularmente como fava ou feijão-fava, é bastante utilizada na alimentação humana e animal, como uma importante fonte de proteína, sendo consumida na forma de grãos verdes ou secos, vagens verdes e folhas. Nos Estados Unidos, um dos maiores produtores mundiais dessa leguminosa, o maior consumo é o de grãos em estado verde e muito apreciados na forma de conserva (grãos enlatados ou congelados e empacotados). Também é utilizada como adubo verde ou cultura de cobertura para a proteção dos solos (VIEIRA, 1992; PEGADO *et al.*, 2008).

No Brasil, a tradição das famílias rurais em cultivar suas plantas, multiplicá-las via sementes, armazenando-as em suas propriedades e intercambiando-as com os vizinhos, tem-se consolidado ao longo das décadas. Este hábito enfatiza as práticas de conservação da diversidade agrícola, tais como coleta, caracterização e adaptação de germoplasma das variedades locais (ALMEIDA; CORDEIRO, 2002).

Os agricultores familiares e suas entidades representativas são responsáveis pela manutenção de um patrimônio genético importantíssimo para a humanidade, por meio da conservação das sementes de cultivares crioulas, apesar do grande avanço da agricultura moderna (PELWING *et al.*, 2008). Além dos agricultores familiares, populações tradicionais, como quilombolas e indígenas, também são importantes sujeitos na conservação das sementes de variedades crioulas (BEVILAQUA, 2014).

As mudanças climáticas impactam negativamente na produção e produtividade de diversas culturas, inclusive em cultivos de variedades crioulas. Essa queda de produtividade e a padronização da alimentação humana, mediante a oferta de reduzida diversidade de alimentos, para o consumo humano, determinam os cultivos a serem implantados no atual modelo de agricultura fundamentado em monocultivos. Esses fatos contribuem para que espécies tradicionais/ crioulas sejam extintas, provocando, assim, o fenômeno conhecido como erosão genética.

Estratégias de conservação e caracterização das variedades de feijão-fava, por meio de estudos e trabalhos de pesquisa, fazem-se necessárias, para que se possa conhecer e aproveitar com eficiência as variedades crioulas disponíveis na região, contribuindo com informações aos guardiões e guardiãs da agrobiodiversidade. pesquisadores e técnicos. Com isso, os estudos de divergência genética são importantes, para conhecer a variabilidade genética presente em cada genótipo, auxiliando na escolha de progenitores que podem ser usados em futuros programas de melhoramento (CRUZ *et al.*, 2004), bem como conhecer variáveis como produção, produtividade, precocidade e o comportamento das variedades no Norte de Minas Gerais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Caracterizar quinze variedades crioulas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) cultivadas no semiárido norte mineiro quanto à qualidade de sementes, desempenho agronômico, divergência genética e fenotipagem por imagens, visando caracterizar o maior número possível de descritores que as identificam, fornecendo subsídios a programas de melhoramento genético e conhecimento das variedades para a manutenção e conservação das variedades em bancos e casas de sementes.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização de quinze variedades crioulas de feijão-fava, utilizando descritores morfoagronômicos;
- Avaliar a qualidade física e fisiológica das sementes de quinze variedades crioulas de feijão fava;
- Avaliar a correlação entre as variáveis estudadas;
- Avaliar a diversidade por componentes principais e sua dissimilaridade por meio de dendrogramas;
- Caracterizar as sementes de quinze variedades crioulas de feijão-fava pela fenotipagem digital;
- Identificar as variáveis explicativas com maior importância no processo de predição pelas redes neurais artificiais (RNAs) nas sementes de feijão-fava.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Feijão-fava

*Phaseolus lunatus* L., popularmente conhecida como feijão-fava, feijão de lima ou simplesmente fava, é a segunda fabacea mais importante entre as quatro do gênero *Phaseolus* mais cultivadas no mundo (*P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. acutifolius*, *P. polianthus*), sendo utilizada como fonte de alimento e geração de renda (SANTOS, 2009). Classificado no reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus lunatus* L. A espécie é cultivada na América, Europa, no Leste e Oeste da África e no Sudeste da Ásia (CIAT, 1980; RACHIE *et al.*, 1980; BAUDOIN, 1988). É uma espécie plurianual, predominantemente autógama, com aproximadamente 10% de taxa de cruzamento natural (HARDY *et al.*, 1997).

Os caracteres que permitem a identificação do feijão-fava são a germinação epígea, as folhas geralmente mais escuras que em outras espécies do gênero (mesmo depois do amadurecimento das vagens); as bractéolas pequenas e pontiagudas; vagens de forma geralmente oblonga ou recurvada, com duas alturas distintas (ventral e dorsal) e número de sementes variando de duas a quatro (ZIMMERMANN; TEIXEIRA, 1996).

Uma característica marcante do feijão-fava, que o distingue facilmente de outros feijões, é a presença de linhas que se irradiam do hilo para a região dorsal das sementes, apesar de que, em algumas variedades, essas linhas podem não ser tão facilmente observadas (VIEIRA, 1992). As sementes do feijão-fava exibem grande variação de coloração e tamanho e, conforme Vargas *et al.* (2003), são utilizadas como critério para explicar a origem e a diversidade genética dessa espécie.

As variedades de *P. lunatus* L. podem apresentar hábito de crescimento determinado ou indeterminado. O determinado se caracteriza pelo desenvolvimento completo da gema terminal em uma inflorescência, enquanto o indeterminado se caracteriza pelo desenvolvimento da gema terminal em uma guia (SANTOS *et al.*, 2002).

Segundo Marimuthu *et al.* (2013), o consumo do feijão-fava é das mais diferentes formas por todo o mundo sendo consumidas as sementes verdes ou secas. Na África tropical, são normalmente consumidos cozidos ou frito em óleo; na Nigéria é utilizado para fazer sopas; os povos Yoruba utilizam a fava para fazer mingaus, bolos, pudins. Em Gana e Malawi, são consumidas as vagens verdes e as folhas, em países asiáticos utilizam brotos cozidos. Já nos Estados Unidos, são consumidos verdes ou secos, em conservas ou congelados, sendo esses os maiores produtores e consumidores de fava.

No entanto seu cultivo é relativamente limitado, sendo que as principais razões são: a maior tradição de consumo dos feijões comuns (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* L.), o paladar do feijão-fava e o tempo de cocção mais longo, além da falta de cultivares recomendadas para as condições climáticas das regiões produtoras (GUIMARÃES *et al.*, 2007; LEMOS *et al.*, 2004 e SANTOS *et al.*, 2002). Entre as leguminosas que produzem

ácido cianídrico (HCN), somente o feijão-fava pode contê-lo em quantidade elevada, sendo este o responsável pelo seu sabor amargo, característica ausente em outras espécies de feijão (VIEIRA, 1992).

Trata-se de uma das principais leguminosas cultivadas na região tropical e apresenta potencial para fornecer proteína vegetal à população, diminuindo a dependência quase exclusiva dos feijões do grupo carioca (VIEIRA, 1992). Estudos feitos Azevedo *et al.* (2003), com sete variedades de feijão-fava, sendo elas quatro oriundas de Teresina/PI e três multiplicadas na EMBRAPA Meio Norte, encontraram teores médios de 23,59% de proteína bruta.

O Norte de Minas Gerais se destaca no estado como uma das regiões produtoras de feijão-fava tendo uma área colhida de 147 hectares, apresentando, porém baixas produtividades numa média de 391kg/ha (SEAPA, 2018).

O feijão-fava tem relativa importância econômica e social, por causa da sua rusticidade, tendo sua colheita prolongada e realizada no período seco (AZEVEDO *et al.*, 2003). Cultivada em maior parte pela agricultura familiar, a fava é responsável por fornecer alimentação e fonte de renda às famílias.

Oliveira *et al.* (2014) constatam que a sensibilidade do feijão-fava ao déficit hídrico no solo e as incertezas climáticas, principalmente, relacionadas às variações pluviométricas entre anos e locais de cultivo, determinam esses baixos índices de rendimento e oscilação da produção anual dessa cultura.

Segundo Maquet *et al.* (1999), o feijão-fava é uma leguminosa tropical, caracterizada por elevada diversidade genética e elevado potencial de produção, que se adapta às mais diferentes condições ambientais, mas desenvolve-se melhor nos trópicos úmidos e quentes.

De acordo com Vieira (1992), a fava é considerada mais tolerante à seca, ao excesso de umidade e ao calor que o feijoeiro-comum. Por essa rusticidade, que possibilita o prolongamento do período da colheita na época de seca, o feijão-lima apresenta relativa importância econômica e social no Brasil (AZEVEDO *et al.*, 2003).

De acordo com Oliveira *et al.* (2004), o efeito de doses de fósforo sobre a produção alcançou rendimentos de grãos verdes ( $5,2 \text{ t ha}^{-1}$ ) e secos ( $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ ), utilizando-se 309 e 302  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , respectivamente.

Segundo Alves (2006), a utilização de 17,0 e 18,6  $\text{t ha}^{-1}$  de esterco bovino, na presença e ausência de NPK, respectivamente, proporciona maior eficiência econômica à produtividade de vagens, enquanto, para a produtividade de grãos secos, a maior eficiência econômica ocorre com 23,0  $\text{t ha}^{-1}$  de esterco bovino na presença de NPK.

Nos últimos anos no Brasil, tem crescido a adoção de práticas de adubação orgânica, que vem favorecendo as características físicas, químicas e aumento de microrganismos benéficos no solo, práticas essas incentivadas e adotadas principalmente pela agricultura familiar.

### 3.2 Centros de origem *Phaseolus lunatus* L.

O gênero *Phaseolus* tem sua origem na América Central (BAUDOIN *et al.*, 2004) e suas espécies estão amplamente distribuídas no mundo, sendo cultivadas nos trópicos e subtropicais, desenvolvendo-se também em zonas temperadas dos hemisférios Norte e Sul. Entre essas espécies, *P. vulgaris* L. e *P. lunatus* L., são as que têm maior importância econômica (MERCADO-RUARO; DELGADO SALINAS, 2000).

A espécie *Phaseolus lunatus* L., conhecida como feijão-fava ou feijão de lima, tem sua origem na Guatemala (MACKIE, 1943) de onde se dispersou em três direções, possivelmente, seguindo as rotas de comércio: Ramificação Hopi – para o Norte, atingindo os Estados Unidos; Ramificação Caribe – para o Leste, atingindo as Antilhas e, daí, para o Norte da América do Sul; e Ramificação Inca – para o Sul, alcançando o Peru. Ainda de acordo com Mackie (1943), a espécie *Phaseolus lunatus* L. pode ser dividida em três cultigrupos: Sieva – proveniente da ramificação Hopi, essa ramificação apresenta sementes médias e achatadas. Batata – proveniente da ramificação Caribe, as sementes são pequenas e globosas. Lima-grande – proveniente da ramificação Inca, as sementes são grandes e achatadas.

Segundo Baudoin (1988), a hipótese de Mackie (1943) não é totalmente aceita pelas seguintes razões: as formas silvestres de fava não se limitam à Guatemala. Sua distribuição vai do Sul do México à região central da Argentina, e restos de cultura foram identificados em diversos sítios arqueológicos do Novo Mundo. O cultigrupo batata, porém só foi encontrado em escavações feitas ao Sudeste dos Estados Unidos. Com base nessas pressuposições, Baudoin (1988) concluiu que, no mínimo, dois cultigrupos foram independentemente domesticados em regiões diferentes.

A espécie pode ser classificada em duas variedades botânicas: var. *silvester* para as variedades silvestres e var. *lunatus* para as variedades cultivadas (BAUDET, 1977). A variedade botânica *lunatus* inclui os cultigrupos “Batata”, “Sieva” e “Lima grande”, definidos por Mackie (1943).

De acordo com Motta- Aldana *et al.* (2010), com base na morfologia de sementes, nos caracteres bioquímicos e moleculares, dois grupos genéticos de *P. lunatus* selvagens foram propostos: o de pequeno porte (pool genético mesoamericano) e o de grande porte (pool genético andino). Com base em uma abordagem filogenética e filogeográfica combinada, foram propostos três pools genéticos no feijão de lima selvagem, o pool genético andino (AI) e dois pools genéticos mesoamericanos (MI e MII). O pool genético MI ocorre, principalmente no México, especialmente na área ao Norte e Noroeste do Istmo de Tehuantepec. O pool MII, distribuído amplamente no México (especialmente a Leste do Istmo de Tehuantepec), América Central, Caribe e, na vertente oriental dos Andes da América do Sul e na Colômbia, Centro-Sul do Peru, Bolívia e Argentina (SERRANO- SERRANO *et al.*, 2010).

Em relação ao pool gênico domesticado de *P. lunatus*, muitas hipóteses foram levantadas em relação à sua origem e três cultigrupos principais foram propostos com base na morfologia das sementes (BAUDET, 1977). O cultigrupo Sieva é caracterizado por sementes

pequenas e pesos que variam entre 40g e 70g/ 100 sementes, com formato de rim; o grupo Batata por sementes menores que 24g e 40g/ 100 sementes, com formato globular e elíptico. A área de origem do cultigrupo, conhecido como Lima grande, com sementes maiores que 70g/ 100 sementes, tem sido controversa e foi colocada no Equador e Norte do Peru, onde as parentes selvagens de sementes grandes também ocorrem (MOTTA-ALDANA *et al.*, 2010; GUTIERREZ SALGADO *et al.*, 1995).

### 3.3 Sementes Crioulas

As sementes crioulas, segundo a legislação brasileira, também chamadas de sementes de variedade local ou tradicional são aquelas conservadas, selecionadas e manejadas por agricultores familiares, quilombolas, indígenas e outros povos tradicionais e que, ao longo de milênios, vêm sendo permanentemente adaptadas às formas de manejo dessas populações e aos seus locais de cultivo.

Sementes crioulas são as que melhor se adaptam nas regiões onde ocorrem, pois se aperfeiçoam pela seleção natural, em que os indivíduos mais vigorosos permanecem, além disso, o agricultor pode armazenar sementes de sua própria lavoura de uma safra para outra não precisando, assim, comprar sementes comerciais, as quais geralmente são perecíveis de um ano para o outro (TRINDADE, 2007).

Além dos diversos aspectos positivos destacados, em relação às sementes crioulas, também podemos designar que estão intimamente ligadas à segurança alimentar, à manutenção das culturas locais e à conservação da natureza, para manter vivo o valioso patrimônio genético, do qual os agricultores familiares são detentores (TRINDADE, 2012).

Essas variedades têm maior variabilidade dentre as plantas cultivadas, sendo mantidas em grande parte por bancos de sementes de agricultores pelo mundo, principalmente em países em desenvolvimento (PELWING *et al.*, 2008).

### 3.4 Conservação e resgate de recursos genéticos

No que se refere à conservação dos recursos genéticos, duas estratégias são possíveis: a conservação *in situ* e *ex situ*. A conservação *in situ* é caracterizada pela conservação no ecossistema e habitat natural, ou seja, a conservação de ecossistemas e habitats e a manutenção e recuperação de populações de espécies em seus meios naturais; ao passo que a conservação *ex situ* refere-se à conservação fora do habitat natural da espécie.

Como exemplo desse último tipo de conservação, podem-se citar os bancos de germoplasma, definidos como locais onde são estocadas, em condições adequadas, amostras de genótipos, variedades melhoradas, crioulas, espécies silvestres e relacionadas a uma determinada espécie de interesse (ZIMMERMANN; TEIXEIRA, 1996), conservadas para uso imediato ou futuro.

Podem ser classificados em bancos de base ou em bancos ativos. Os primeiros são aqueles em que se conserva o germoplasma em câmaras frias (1°C até -20°C), *in vitro* (conservação de partes vegetais em meio de cultura de crescimento) ou criopreservação (em nitrogênio líquido a -196°C). Os bancos ativos são aqueles em que ocorrem plantios frequentes para a caracterização, o que proporciona a conservação em apenas curto e medianos prazos.

De acordo com Knudsen (2000), conforme dados do Internacional Institute of Plant Genetic Resources (IPGRI), as coleções de germoplasma de *P. lunatus* L. podem ser encontradas nas seguintes instituições: Estação Experimental Agropecuária Salta, Argentina; Instituto de Investigación Agrícola El Vallecito e Universidade Autónoma Gabriel René Moreno, Bolívia; Faculdade de Ciências Agrárias e Universidade Austral de Chile, Chile; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colômbia, com entradas provenientes de diferentes países (Belice, Brasil, Colômbia, Honduras, México, Panamá, Filipinas e Venezuela); Centro Agronômico Tropical de Investigación e Enseñanza (CATIE) e Escola de Biología, Costa Rica; Instituto de Investigaciones Fundamentales em Agricultura Tropical (INIFAT), Cuba; Estação Experimental Portoviejo, INIAP, Equador; Centro Universitário de SurOccidente (CUNSUROC) e Universidade de San Carlos, Guatemala; Ciências Agropecuárias e Instituto de Ecología Aplicada de Guerrero (INEAGRO), México; Estação Experimental Agropecuária La Molina, Universidade Nacional Hermilio Valdizan (UNHEVAL) e Universidade Nacional Agrária La Molina, Peru.

Durante a década de 1970 no Brasil, pela preocupação com a iminente perda da biodiversidade no campo, em função da expansão de áreas agrícolas e introdução e uso de cultivares melhoradas, é que se iniciou a organização dos bancos de germoplasma (PEREIRA NETO, 2004).

No Brasil, o Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN), em Brasília, DF, possui uma Coleção Base de *Phaseolus spp.*, com 12.488 acessos de 20 espécies, seis subespécies e 16 variedades, sendo que 32,20% desses acessos foram coletados no país; o feijão-fava é a segunda espécie com maior número de acessos presentes na coleção, perfazendo 7,80% (WETZEL *et al.*, 2006). No Banco de Germoplasma de Hortaliças, na UFV, MG, encontram-se 401 variedades tradicionais de feijão-fava do Brasil (KNUDSEN, 2000). Nos estados de Pernambuco e Piauí, encontram-se também 17 Coleções de Germoplasma, principalmente de variedades crioulas; na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife e na UFPI, em Teresina, com acessos obtidos, a partir de coletas realizadas na região Meio-Norte do Brasil e por meio de intercâmbios com outras instituições (COSTA *et al.*, 2007).

Faleiro e Junqueira (2011) incluem uma terceira estratégia de conservação, a *on farm*, complementar à conservação *in situ*, sendo uma das formas para a conservação da agrobiodiversidade, envolvendo recursos nativos e exóticos adaptados às condições locais, que estão em contínuo processo de seleção e de melhoramento pelas comunidades locais e populações indígenas.

A conservação na propriedade (*on farm*) se fundamenta num processo contínuo de evolução e adaptação em que novas variantes surgem e são desafiadas pela seleção natural e artificial (antrópica). Ao contrário da conservação *in situ*, a conservação *on farm* valoriza os agricultores e as populações tradicionais enquanto protagonistas de todo o processo.

### 3.5 Caracterização Morfológica e Agronômica

A caracterização de germoplasma pode ser realizada por diferentes métodos, incluindo desde práticas tradicionais, que envolvem o uso de lista de descritores morfológicos e agronômicos, a aplicações bioquímicas para detectar diferenças entre isoenzimas, proteínas e marcadores moleculares (VICENTE *et al.*, 2005). O feijão-fava possui uma diversidade muito grande de cores, tamanhos e formas.

Segundo Zimmermann e Teixeira (1996), o estudo morfológico de sementes de cultivares de feijão-fava é de fundamental importância, uma vez que objetiva registrar o maior número possível de caracteres que identificam a planta, propiciando, assim, subsídios aos programas de melhoramento genético e, principalmente, que se possa aproveitar com maior eficiência o germoplasma disponível.

Carvalho *et al.* (2009) definem a caracterização morfológica como a anotação de descritores botânicos facilmente visíveis ou mensuráveis, tornando-os marcadores fenotípicos e que, a princípio, podem ser expressos em todos os ambientes, são acessíveis e variam em função do destino que será dado ao produto final.

Os aspectos morfológicos e fenológicos são observados de forma sistemática nos acessos, pelo confronto com descritores específicos, os quais devem ser bem definidos, para todos os usuários de uma espécie ou cultivo, levando em consideração os seus diferentes usos, objetivos de um programa de melhoramento, métodos de medir a mesma característica, assim como a diversidade genética (SILVA; COSTA, 2003).

Os descritores utilizados para *Phaseolus lunatus* L. seguem o formato internacionalmente utilizado do IPGRI, a sua utilização constitui um meio rápido, eficiente e de confiança, para a conservação, acesso e troca de informação e promove a utilização do germoplasma. A publicação está dividida em: dados de passaporte (identificadores da amostra e informação registrada pelos coletores); caracterização (registro de características altamente hereditárias); avaliação preliminar (registro de características adicionais estimadas como convenientes por consenso dos utilizadores da cultura); avaliação posterior (características úteis ao melhoramento) e gestão (bases para a multiplicação e regeneração) (IPGRI, 2001).

### 3.6 Qualidade das sementes

Segundo Silva *et al.* (2010), a semente é um dos insumos mais importantes e tem um papel fundamental na produção agrícola, sendo que seu desempenho é um fator essencial

para a obtenção de um estande desejável de plantas, contribuindo significativamente ao rendimento da cultura.

A qualidade de um lote de sementes compreende um conjunto de características que determinam seu valor para a semeadura, de modo que o potencial de desempenho das sementes somente pode ser identificado, de maneira consistente, quando é considerada a interação dos atributos de natureza genética, física, fisiológica e sanitária (MARCOS-FILHO, 2005).

O fator genético diz respeito a atributos intrínsecos à semente, os quais determinam a sua capacidade de germinar e emergir rapidamente, para que a cultura estabeleça e produza plantas vigorosas, mesmo quando as condições no campo não sejam as mais adequadas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

A qualidade física compreende a pureza e a condição física da semente, que é caracterizada pelo grau de umidade, tamanho, cor, densidade, aparência, danos mecânicos ou causados por insetos e infecções por doenças (POPINIGIS, 1985).

A qualidade fisiológica é a capacidade das sementes em desempenhar funções essenciais, tais como germinação, vigor e longevidade. As sementes de maior potencial fisiológico destacam-se pela melhor mobilização de suas reservas energéticas dos cotilédones ou endosperma, para o eixo embrionário, fazendo com que a germinação dessas plantas seja mais acelerada e o desenvolvimento, uniforme em condições de campo; como consequência, as plantas provenientes são consideradas superiores (MARCOS FILHO, 2005). O fator fisiológico pode ser influenciado pelo ambiente em que são produzidas as sementes.

### **3.7 Fenotipagem de larga escala**

Para o melhoramento genético, a variabilidade possibilita a expressão do potencial da população para a seleção (RAMALHO *et al.*, 1996), sendo de interesse dos melhoristas a maior variabilidade genética nas plantas, para que os processos de seleção resultem em ganhos genéticos significativos (BERNARDO, 2002).

Apesar da facilidade e simplicidade do procedimento de mensuração, as técnicas tradicionais de fenotipagem são demandadoras de tempo, recursos financeiros e mão de obra (SOUSA *et al.*, 2015), além disso, as técnicas tradicionais não conseguem discriminar características fenotípicas complexas, oriundas de modificações genéticas sutis (MATSUDA *et al.*, 2012).

A fenotipagem de larga escala, conhecida como fenômica, têm sido associada a análises, principalmente com o uso de imagens, permitindo a geração de grande quantidade de dados em um período relativamente menor, quando comparado a métodos convencionais (WALTER *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2015).

Nas avaliações envolvendo a fenotipagem de alto rendimento, além da obtenção de grande número de variáveis que dificilmente se obtém pelo método tradicional, trabalha-se com equipes multidisciplinares, permitindo trocas de conhecimentos nas diversas áreas com

informações mais detalhadas do genótipo em estudo aumentando a precisão e robustez do melhoramento.

As tecnologias que estão sendo utilizadas, nesta nova era de fenotipagem de plantas, empregam técnicas de espectroscopia, termografia, tomografia, fluorescência, discriminação por isótopos e imagens digitais, e as tecnologias baseadas em espectroscopia de absorção e captura e análise de imagens, em ambientes controlados, vêm contribuindo extensivamente para estudos em fenômica (SANTOS; YASSITEPE, 2014).

Tecnologias baseadas em imagens podem ser usadas, para medir características bioquímicas, fisiológicas e morfológicas, tais como atividade fotossintética, atividade estomática, composição química foliar e arquitetura de folhas e raízes (CLARK *et al.*, 2011; GENTY; MEYER, 1995; LENK *et al.*, 2007; MERLOT *et al.*, 2002; ROMANO *et al.*, 2011).

Para alcançar a mesma velocidade observada, atualmente, na caracterização genômica, é necessário incorporar à fenotipagem avanços nas áreas de computação, robótica, visão computacional e análise de imagens (COBB *et al.*, 2013; FIORANI; SCHURR, 2013; FURBANK; TESTER, 2011).

No momento, o desenvolvimento de plataformas de fenotipagem é dominado por algumas poucas empresas que detêm os registros e comercializam módulos de imagens e “softwares” de automação (SOUSA *et al.*, 2015) e, dentre algumas críticas, estão o alto custo na implantação e a dependência do fabricante para ajuste, calibração, validação e manutenção.

Segundo Vithu e Moses (2016), técnica de visão computacional combinada a algoritmos de reconhecimento de padrões e ferramentas de classificação automática tem sido desenvolvida para suprir essas limitações e ser utilizada no monitoramento de culturas e análise da qualidade de alimentos.

De acordo com Oliveira (2015), o sistema de visão computacional surgiu como alternativa, para a avaliação da cor, principalmente, por apresentar alguns benefícios quanto a outras metodologias, como, por exemplo: a rapidez, objetividade, abrangência e eficácia. Uma das principais características do sistema de visão computacional é a possibilidade de interpretação de parâmetros mais significativos de uma imagem, tais como avaliação da qualidade, classificação e localização de defeitos (GOMES; LETA, 2012). Al Ohali (2011) destaca que, entre as inúmeras vantagens provenientes da utilização do sistema de visão computacional, está a consistência e uniformidade dos resultados, uma vez que a inspeção visual de imagens feita por humanos é um trabalho demorado e, muitas vezes repetitivo, que pode interferir, significativamente, nos resultados encontrados.

Para avaliar uma imagem utilizando o sistema de visão computacional, são necessários um sistema de iluminação, uma câmera digital de alta resolução e um software processador de imagem. Em seguida, é de fundamental importância que se contemplem as etapas sequenciais de aquisição da imagem, pré-processamento, segmentação da imagem, normalização das características de interesse, classificação e reconhecimento de padrões (FORSYTH; PONCE, 2003; OLIVEIRA, 2015; ALMEIDA, 2018).

## REFERÊNCIAS

- AL OHALI, Yousef. Computer vision based date fruit grading system: Design and implementation. **Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences**, v. 23, n. 1, p. 29-36, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157810000054>. Acesso em: 21 jun. 2020.
- ALMEIDA, D. O. Métodos de visão computacional aplicados a extração de características de ambientes urbanos em imagens de satélite de baixa resolução. 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.
- ALMEIDA, P.; CORDEIRO, A. **Semente da paixão**: estratégia comunitária de conservação de variedades locais no semi-árido. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002. 72p.
- ALVES, A. U. **Rendimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) em função da adubação organomineral**. 2006. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) – UFPB. Centro de Ciências Agrária, Areia, 2006.
- AZEVEDO, J. DE N.; FRANCO, L.J. D.; ARAÚJO, R.O.C. **Composição química de sete variedades de feijão-fava**. Teresina: EMBRAPA, 2003. (Embrapa Meio-Norte: Comunicado Técnico, 152).
- BAUDET, J. V. Signification taxonomique des caracteres blastogênes dans la tribu *Papilionaceae- Phaseolae*. **Bulletin du Botanique National de Belgique**, v. 44, p. 259-293, 1977.
- BAUDOIN, J. P. Genetic resources, domestication and evolution of lima bean, *Phaseolus lunatus*. In: GEPTS, P. (ed.). **Genetic resources of Phaseolus bean**. Holland: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 393-407.
- BAUDOIN, J. P.; ROCHA, O. DEGREEF J.; MAQUET, A.; GUARINO, L. Ecogeography, demography, diversity and conservation of *Phaseolus lunatus* L. in the Central Valley of Costa Rica. **International Plant Genetic Resources Institute**, Rome, Italy. 2004.
- BERNARDO, R. **Breeding for Quantitative Traits in Plants**. Woodbury: Stemma Press, 2002. 360 p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Campinas: Fundação Cargill, 2000, 590 p.
- CARVALHO, C.A.L. *et al.* **Tópicos em Ciências Agrárias**. v 1. Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009.
- CIAT. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Diversidad genética de las especies cultivadas del género *Phaseolus***. Cali: [s.n], 1980. 52p.
- CLARK, R. T.; MACCURDY, R. B.; JUNG, J. K.; SHAFF, J. E.; MCCOUCH, S. R.; ANESHANSLEY, D. J.; KOCHIAN, L. V. Three-dimensional root phenotyping with a novel imaging and software platform. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 156, n. 2, p. 455-465, Jun. 2011.
- COBB, J. N.; DECLERCK, G.; GREENBERG, A.; CLARK, R.; MCCOUCH, S. Next-generation phenotyping: requirements and strategies for enhancing our understanding of genotype-phenotype relationships and its relevance to crop improvement. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 126, n. 4, p. 867-87, May, 2013. DOI: 10.1007/s00122-013-2066-0.
- COSTA, E. M. R.; SANTOS, J. O.; SILVA, S. C. C. C.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.

Dissimilaridade de Acessos de Fava do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Piauí. *In*: SIMPOSIUM INTERNACIONAL SOBRE RECURSOS GENÉTICOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE –SIRGEALC, 2007, Cidade do México. **Anais [...]**. Simpósio de Recursos Genéticos para América Latina y El Caribe, 2007. p. 43.

- FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. Recursos genéticos: conservação, caracterização e uso. *In*: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS/JUNIOR, F. **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 729 p.
- FIORANI, F.; SCHURR, U. Future scenarios for plant phenotyping. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 64, p. 267-91, Feb. 2013. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050312-120137.
- FORSYTH, D.; PONCE, J. **Computer vision: a modern approach**. Prentice Hall, 2003.
- FURBANK, R. T.; TESTER, M. **Phenomics: technologies to relieve the phenotyping bottleneck**. *Trends in Plant Science*, Oxford, v. 16, n. 12, p. 635-644, Dec. 2011
- GENTY, B.; MEYER, S. Quantitative mapping of leaf photosynthesis using chlorophyll fluorescence imaging. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 22, n. 2, p. 277-284, 1995.
- GOMES, J. F. S.; LETA, F. R. Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 235, n. 6, p. 989-1000, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-012-1844-2>. Acesso em: 3 jan. 2020.
- GUTIÉRREZ-SALGADO A.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D.G Evidence for two gene pools of the lima bean, *Phaseolus lunatus* L., in the Americas. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.42, p.15-28, 1995.
- GUIMARAES, W.N.; MARTINS, L.S.; SILVA, E.F.; FERRAZ, G.M.G.; OLIVEIRA, F.J. Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Brasileira de Engenharia. Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p. 37-45, 2007.
- HARDY O.; DUBOIS, S.; ZORO BI, I.; BAUDOIN, J.P. Gene dispersal and its consequences on the genetic structure of wild populations of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in Costa Rica. **Plant Genetic Resources Newsletter**, n.109, p.1-6, 1997.
- IPGRI. Descritores para *Phaseolus lunatus* (Feijão-espada). **International Plant Genetic Resources Institute**, Rome, 2001. 44p.
- KNUDSEN, H. **Directorio de Colecciones de Germoplasma en América Latina y el Caribe**. Primera edición. Roma: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), 2000. 381 p.
- LEMOS, L.B.; OLIVEIRA, R.S. DE; PALOMINO, E.C.; SILVA, T.R.B. DA. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p.319-326, 2004.
- LENK, S., CHAERLE, L.; PFÜNDEL, E. E.; LANGSDORF, G.; HAGENBEEK, D.; LICHTENTHALER, H. K.; STRAETEN, D. van der; BUSCHMANN, C. Multispectral fluorescence and reflectance imaging at the leaf level and its possible applications. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 4, p. 807-814, Nov. 2007.
- MACKIE, W.W. Origin dispersal and variability of the Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Hilgardia**, v.15, n.1, p.1-29.1943.
- MAQUET, A.; VEKEMANS, X. Z.; BAUDOIN, J. P. Phylogenetic study on wild allies of lima bean, *Phaseolus lunatus* (Fabaceae), and implications on its origin. **Plant Systematics**

**and Evolution**, v. 218, n. 1-2, p.43-54, 1999.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MARIMUTHU M, VENKATESH M.; POONGODI M. Effect of moisture content on some physical, mechanical properties of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.), an underutilized common food legume. **Innovare Journal Of Agriculture Science**, v. 1, n. 2, p. 8-16, 2013.

MATSUDA, O.; TANAKA, A.; FUJITA, T.; IBA, K. Hyperspectral imaging techniques for rapid identification of Arabidopsis mutants with altered leaf pigment status. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 53, n. 6, p. 1154-1170, 2012.

Mercado-Ruaro, P.; Deldado-Salinas, A. Cytogenetic studies in Phaseolus L.(Fabaceae). **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 4, p. 985-987, 2000.

MERLOT, S.; MUSTILLI, A. C.; GENTY, B.; NORTH, H.; LEFEBVRE, V.; SOTTA, B.; VAVASSEUR, A.; GIRAUDAT, J. Use of infrared thermal imaging to isolate Arabidopsis mutants defective in stomatal regulation. **Plant Journal: for Cell and Molecular Biology**, Oxford, v. 30, n. 5, p. 601-609, Jun. 2002.

MOTTA-ALDANA, J. R.; SERRANO-SERRANO, M. L.; HERNÁNDEZ-TORRES, J.; CASTILLO-VILLAMIZAR, G.; DEBOUCK, D. G. Multiple origins of Lima bean landraces in the Americas: evidence from chloroplast and nuclear DNA polymorphisms. **Crop Science**, v. 50, n. 5, p. 1773- 1787, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.12.0706>

OLIVEIRA, A. E. S.; SIMEÃO, M.; MOUSINHO, F. E. P.; GOMES, R. L. F. Desenvolvimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) sob déficit hídrico cultivado em ambiente protegido. **HOLOS**, ano 30, v. 1, 2014.

OLIVEIRA, A. P.; ALVES, E. U.; ALVES, A. U.; DORNELAS, C. S. M.; SILVA, J. A.; PÔRTO, M. L.; ALVES, A. V. Produção de feijão-fava em função do uso de doses de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, 2004.

OLIVEIRA, E. **Sistema de visão computacional para avaliação física de cafés (Coffea arabica L.) de diferentes**. 2015. 104 f. Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015

PEGADO, C. M. A.; BARBOSA, L. J. N.; MENDES, J. E. M. F.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S. Decomposição superficial e subsuperficial de folhas de fava (*Phaseolus lunatus* L.) na região do brejo da Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 1, p. 218-223, 2008.

PELWING, A. B.; FRANK, L. B.; BARROS, I. I. B. de. Sementes crioulas: o estado da arte no Rio Grande do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 46, n. 2, 2008.

PEREIRA NETO, L. G. **Germinação de sementes de soja armazenadas em banco de germoplasma**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG. 2004

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: Agiplan, 1985. v. 2.

RACHIE, K.O.; SONG, L.; LYMAN, J. Lima bean (*Phaseolus lunatus*) and potential in the tropics. In: SUMMERFIELD, R.J.; BUNTING, A.H. (ed.). **Advances in legume science**. Kew: Royal Botanic Garden, p.375-381, 1980.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. B. **Genética na agropecuária**. 5. ed. São Paulo: Globo, 1996.

- ROMANO, G.; ZIA, S.; SPREER, W.; SANCHEZ, C.; CAIRNS, J.; ARAUS, J. L.; MÜLLER, J. Use of thermography for high throughput phenotyping of tropical maize adaptation in water stress. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 79, n. 1, p. 67-74, Oct. 2011. DOI: 10.1016/j.compag.2011.08.011.
- SANTOS, J. O.; ARAÚJO, A. S. F.; GOMES, R. L. F.; LOPES, A. C. A.; FIGUEIREDO, M. V. B. Ontogenia da nodulação em feijão-fava (*Phaseolus lunatus*). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, p. 426-429, 2009.
- SANTOS, D.; CORLETT, F.M.F.; MENDES, J.E.M.F.; WANDERLEY JÚNIOR, J.S.A. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1407-1412, 2002.
- SANTOS, T. T.; YASSITEPE, J. E. de C. T. Fenotipagem de plantas em larga escala: um novo campo de aplicação para a visão computacional na agricultura. *In*: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. S. (ed.). **Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1. p. 85-100.
- SEAPA. SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS. Subsecretaria do Agronegócio. **Fava**. 2018. Disponível em: [http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/perfil\\_fava\\_out\\_2018\[1\].pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/perfil_fava_out_2018[1].pdf). Acesso em: 20 out. 2018.
- SERRANO-SERRANO, M. L.; HERNÁNDEZ-TORRES, J.; CASTILLO-VILLAMIZAR, G.; DEBOUCK, D. G.; SÁNCHEZ, M. I. Gene pools in wild Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) from the Americas: evidences for an Andean origin and past migrations. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 54, p. 76–87, 2010.
- SILVA, H. T. da; COSTA, A. O. **Caracterização botânica de espécies silvestres do gênero Phaseolus L. (Leguminosae)**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 40 p. (Documentos, 156).
- SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PASCUALI, L. C.; SILVA, S. T. C. Viabilidade do armazenamento de sementes em diferentes embalagens para pequenas propriedades rurais. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 45- 56, 2010.
- SOUSA, Carlos Antônio Ferreira *et al.* Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, v. 8, n. 4, p. 660-672, 2015.
- VICENTE, M.C.; GUZMÁN, F.A.; ENGELS, J.; RAMANATHA RAO, V. Genetic Characterization and its use in decision making for the conservation of crop germplasm. *In*: The role of biotechnology, 2005, Turin. **Proceedings...** Turin: 2005. p. 121-128.
- VITHU, P.; MOSES, J. A. Machine vision system for food grain quality evaluation. A review. Trends in **Food Science & Technology**, v. 56, p. 13- 20. Out.2016. ISSN: 0924- 2244.
- TRINDADE, C. C. **Sementes crioulas e transgênicos, uma reflexão sobre sua relação com as comunidades tradicionais**. 2008. Disponível em: [http://www.conpedi.org.br/manaus/arquivos/anais/manaus/estado\\_dir\\_povos\\_carina\\_carrreira\\_trindade.pdf](http://www.conpedi.org.br/manaus/arquivos/anais/manaus/estado_dir_povos_carina_carrreira_trindade.pdf). Acesso em: 12 jul. 2019.
- TRINDADE, C. C. **Sementes crioulas e transgênicos, uma reflexão sobre sua relação com as comunidades tradicionais**. 2012. Disponível em: [http://www.conpedi.org.br/manaus/arquivos/anais/manaus/estado\\_dir\\_povos\\_carina\\_carrreira\\_trindade.pdf](http://www.conpedi.org.br/manaus/arquivos/anais/manaus/estado_dir_povos_carina_carrreira_trindade.pdf). Acesso em: 12 jul. 2019.
- VIEIRA, R. B. A cultura do feijão-fava. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 174, p. 30- 37, 1992.

- WALTER, A.; LIEBISCH, F.; HUND, A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. **Plant Methods**, v. 11, p. 14, 2015.
- WETZEL, M.M.V. DA S.; SILVA, D.B. DA; SILVA, H.T. DA; NETO, L.G.V.P.; FONSECA, J.R. Acervo de recursos genéticos de *Phaseolus* spp. conservados à longo prazo. Brasília, 2006. 10p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia: Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 129).
- ZIMMERMANN, M. J. O.; TEIXEIRA, M. G. Origem e evolução. *In*: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (eds). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (POTAFOS), 786p, 1996.

## 4 ARTIGOS

### 4.1 Artigo 1 – Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Agriculture, Ecosystems & Environment.

#### Resumo

Feijão-fava é leguminosa de grande importância na alimentação humana e animal como fonte de proteína. Apresenta elevada diversidade genética e é uma espécie adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro. O Norte de Minas Gerais se destaca como região produtora, porém apresenta uma baixa produtividade. Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a qualidade de sementes, a caracterização morfológica, desempenho agrônômico e identificar a correlação entre as variáveis estudadas de quinze variedades crioulas de feijão-fava. As sementes de feijão-fava foram obtidas de bancos de sementes do Norte de Minas nos municípios de Montes Claros (comunidade de Pau d' Óleo), Serranópolis de Minas (comunidade de Touro), Varzelândia (comunidade João Congo) e Grão Mogol (Assentamento Americana). O experimento foi dividido em duas etapas, uma no laboratório de análise de sementes, para a avaliação da qualidade de sementes e em campo, na Fazenda Experimental Hamilton Abreu de Navarro, no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, onde foram determinados índice de velocidade de emergência, emergência final, altura e diâmetro do hipocótilo, comprimento e largura da folha primária, início da floração, início da frutificação, comprimento e largura da vagem, número de sementes por vagem, produção de sementes por parcela e hábito de crescimento. Os resultados obtidos evidenciam uma ampla variabilidade na qualidade física e fisiológica das sementes. As variedades 3 e 6 ( identificadas por fava-rajada e fava-carioca, respectivamente), apresentaram resultados dos testes de primeira contagem da germinação e de germinação incompatíveis com resultados de campo. As variedades de feijão-fava foram estratificadas pelas variáveis diâmetro do hipocótilo e comprimento e largura do folíolo. A variável largura apresentou correlação com a produtividade de grãos, no entanto a produtividade não apresentou correlação com a qualidade de sementes.

**Palavras-chave:** *Phaseolus lunatus* L.; Descritores morfoagronômicos; Produtividade; Correlação de Pearson.

#### Abstract

The fava bean is a legume of great importance in human and animal nourishment as a source of protein. It exhibits high genetic diversity and it is a species that has adapted to the edaphoclimatic conditions of the Brazilian semi-arid regions. The north of Minas Gerais stands out as a producing region, however it has a low productivity. The objective of this work is to evaluate the quality of the seeds, the morphological description, and the agronomic development and identify the correlation amongst the studied variables of fifteen local varieties of fava bean. The seeds of the fava bean were obtained from the Seed Bank of Northern Minas in the municipalities of Montes Claros (community of Pau d' Óleo), Serranópolis de Minas (community of Touro), Varzelândia (community of João Congo) e Grão Mogol (settlement of Americana). The experiment was divided into two stages; one in the seed analysis laboratory to evaluate the quality of the seeds; and one stage in the field at the Fazenda Experimental Hamilton Abreu de Navarro at the Instituto de Ciências Agrárias of UFMG, where it was determined the index of emergency velocity, final emergency, height and diameter of the hypocotyl, length and width of the primary leaf, beginning of flowering, beginning of fructification, length and width of the pod, number of seeds per pod, seed production per plot,

and growth habits. The obtained results show an ample variability in the physical and physiological quality of the seeds; the 3rd and 6th variety (commonly known as 'fava rajada' and 'fava carioca', respectively) presented results of the first germination and germination counts that were incompatible with the field tests. The varieties of fava beans were stratified according to the diameter of the hypocotyl and the length and width of the leaflet. The width variable showed a correlation with the grain yield, however the yield did not have a correlation with the quality of the seeds.

**Keywords:** *Phaseolus lunatus* L.; Morpho-agronomic descriptors; Productivity; Pearson Correlation.

#### 4.1.1 Introdução

O feijão-fava é uma leguminosa de grande importância na alimentação humana e animal como fonte de proteína, além de ser utilizada como adubo verde, fixando nitrogênio e melhorando a fertilidade do solo.

No entanto seu cultivo é relativamente limitado e as principais razões disso são a maior tradição de consumo dos feijões comuns (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* L.), seu paladar e tempo de cocção mais longo, além da falta de cultivares recomendadas para as condições climáticas das regiões produtoras (Guimarães *et al.*, 2007; Lemos *et al.*, 2004 e Santos *et al.*, 2002).

O feijão-fava é uma leguminosa que requer pouca umidade, quando comparada a outras espécies do mesmo gênero e destaca-se como a mais tolerante ao calor (Soto *et al.*, 2005). De acordo com Azevedo *et al.* (2003), o feijão-fava é uma espécie adaptada às condições do clima semiárido, apresentando alta rusticidade e, por ter hábito de crescimento predominantemente indeterminado, possibilita a colheita prolongada no período seco.

A fava é cultivada principalmente por agricultores e agricultoras familiares por meio do plantio de sementes crioulas em consórcio com outras culturas. As sementes crioulas são amplamente utilizadas pela agricultura familiar, por povos e comunidades tradicionais, sendo consideradas um patrimônio genético, pois têm ligações tanto a fatores naturais e culturais, quanto à reprodução dos seus modos de vida (Santilli, 2009).

O Norte de Minas Gerais se destaca no estado como uma das regiões produtoras de feijão-fava, tendo uma área colhida de 147 hectares, apresentando, porém baixas produtividades numa média de 391 kg ha<sup>-1</sup> (SEAPA, 2018). Outro fator importante no Norte de Minas é a diversidade de tamanhos, formas e cores de sementes de fava que são encontradas nas casas e bancos de sementes.

Além da diversidade genética que representam, outro aspecto fundamental referente às variedades crioulas é que elas não são estáticas, ao contrário, estão em permanente processo evolutivo e de adaptação às condições ambientais e sistemas de cultivo (Cunha, 2013).

No entanto se faz necessário caracterizar a morfologia, desempenho agrônômico e qualidade de sementes das variedades de feijão-fava e conhecer suas potencialidades, a fim de selecionar variedades mais produtivas, fornecer informações para aperfeiçoar o manejo e garantir bases estratégicas e integradas de conservação e manutenção dessas variedades aos agricultores. Essa caracterização é importante também para auxiliar melhoristas, em

programas de melhoramento genético da espécie, identificando as variedades mais promissoras.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade de sementes, a caracterização morfológica, o desempenho agrônomo e identificar a correlação entre as variáveis estudadas de quinze variedades crioulas de feijão-fava.

#### 4.1.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes e na Fazenda Experimental Hamilton de Abreu Navarro (FEHAN) do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG (ICA - UFMG), no município de Montes Claros - MG.

Os tratamentos foram compostos por quinze variedades crioulas de feijão-fava obtidas de bancos e casas de sementes dos municípios do Norte de Minas, Montes Claros (comunidade de Pau d' Óleo), Serranópolis de Minas (comunidade de Touro), Varzelândia (comunidade João Congo) e Grão Mogol (Assentamento Americana), conforme Tabela 1, da safra de 2017.

**Tabela 1** – Identificação das sementes das variedades de sementes crioulas de feijão-fava obtidas de bancos de sementes dos municípios localizados na região Norte do estado de Minas Gerais

Variedades crioulas	Nome popular	Origem
1	Três meses	Grão Mogol
2	Sem denominação	Montes Claros
3	Fava Rajada	Grão Mogol
4	Olho de Lambu	Serranópolis de Minas
5	Fava Baetona	Grão Mogol
6	Fava Carioca	Grão Mogol
7	Anduzinha	Varzelândia
8	Fava Leite	Serranópolis de Minas
9	Três meses rajada	Serranópolis de Minas
10	Mulatinha	Serranópolis de Minas
11	Mulatinha Branca	Serranópolis de Minas
12	Mulatinha Parda	Serranópolis de Minas
13	Olho de pombo	Serranópolis de Minas
14	Amarelinha	Serranópolis de Minas
15	Sem denominação	Serranópolis de Minas

Para a realização dos testes, as sementes foram selecionadas, separando as malformadas, brocadas ou chochas. No Laboratório de Análise de Sementes, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições por tratamento (variedade).

O teor de água das sementes foi determinado, conforme metodologia prescrita nas Regras, para Análise de Sementes (Brasil, 2009), utilizando o método da estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , por 24 horas, com quatro repetições de 10 sementes por variedade, sendo os resultados expressos em % de teor de água (b.u.). O peso da matéria seca de semente foi determinado paralelamente ao teor de água, utilizando-se três amostras de 100 sementes.

O peso de 100 sementes foi obtido com quatro repetições de 25 sementes por tratamento, que foram pesadas em balança analítica de precisão de 0.0001 g (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em gramas.

Foram ainda calculados os tamanhos, sendo classificados em: pequenas (menores que 30 g), médias (de 30 a 40 g), normal (de 40 a 60 g) e grandes (maiores que 60 g), segundo Mateo Box citado por Vilhordo (1996).

A qualidade fisiológica foi determinada pelos testes de germinação, índice de velocidade de emergência e emergência final de plântulas determinadas em campo. Para o teste de germinação, foram utilizadas quatro repetições com 25 sementes por tratamento, distribuídas em substrato papel germitest, previamente umedecidas com água destilada, em quantidade equivalente a 2.5 vezes o peso do papel, em sistema de rolos, os quais posteriormente foram colocados em sacos plásticos transparentes, fechados e transferidos para câmara tipo BOD, mantidas à temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  e fotoperíodo de 12 h. As avaliações foram realizadas no quinto e nono dia após a montagem do teste (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes germinadas normais, anormais, sementes mortas e duras (Brasil, 2009).

Concomitantemente ao teste de germinação, foi realizado o teste de primeira contagem de germinação, obtido pelo número de plântulas normais, determinado no quinto dia, após a instalação do teste, sendo os resultados expressos em porcentagem.

A matéria seca de plântulas foi obtida ao final do teste de germinação, em que foram seccionados os cotilédones das plântulas normais e as plântulas colocadas em cadinhos e acondicionadas em estufa de secagem a  $65^{\circ}\text{C}$  por 72 horas. Decorrido esse período, as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão de 0.001 g e os resultados foram expressos em  $\text{g plântula}^{-1}$ .

O experimento de campo foi conduzido na Fazenda Experimental Hamilton de Abreu Navarro (FEHAN) do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG (ICA - UFMG), no município de Montes Claros, localizado ao Norte de Minas Gerais, sob as coordenadas  $16^{\circ}51'38''\text{S}$  e  $44^{\circ}55'00''\text{W}$ , altitude de 678 m e clima do tipo Aw, considerado tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo Köppen e Geiger.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), sendo formado por três blocos com quinze variedades crioulas de feijão-fava e cada parcela de duas linhas com três plantas por linha, equidistantes 1.20 m. O plantio realizou-se no mês de maio de 2018. Foram semeadas por cova três sementes de feijão-fava consorciadas com três sementes de milho, sendo as favas desbastadas, após um mês de emergidas, deixando-se apenas uma planta por cova.

A área de cultivo possui um histórico de produção orgânica de hortaliças, e os resultados da análise de solo são apresentados na Tabela 2. O solo foi classificado como sendo de textura média, com pH igual a 7.7, baixo teor de matéria orgânica e teores de nutrientes muito bons.

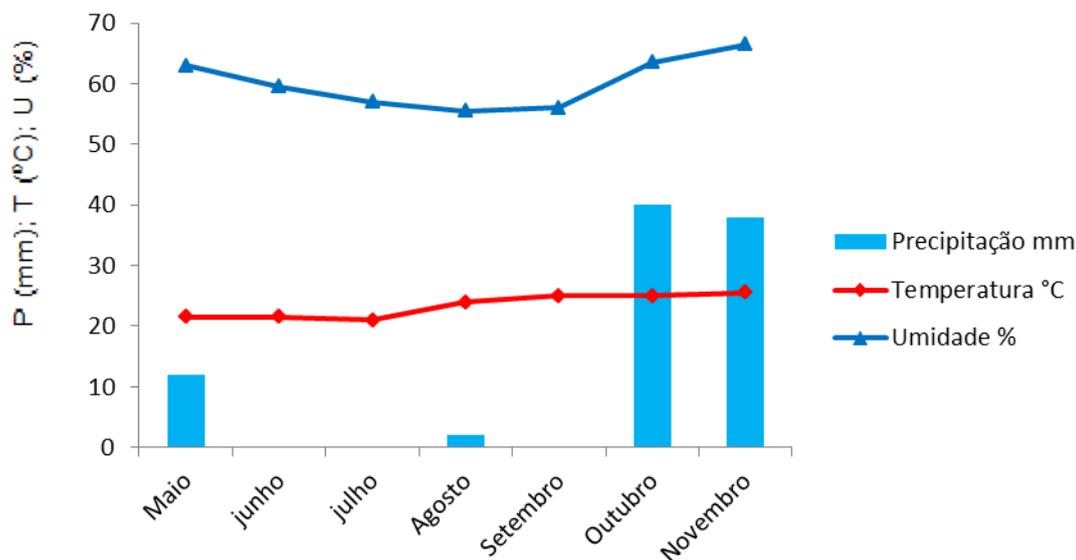
**Tabela 2** – Análise do solo para a caracterização química, física e classificação textural da área experimental no ICA/UFMG Montes Claros

pH	P re	P-M	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	MO	CO
H <sub>2</sub> O	mg L <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----							%	-dag kg <sup>-1</sup> -	
7.700	33.830	95.000	228	7.360	2.780	0.00	0.820	10.720	10.720	11.540	93	3.080	1.780
	A. Grossa	A. Fina	Silte		Argila								Classe Textural
	-----dag kg <sup>-1</sup> -----												
	12.600	19.400		50.000	18.000								Média

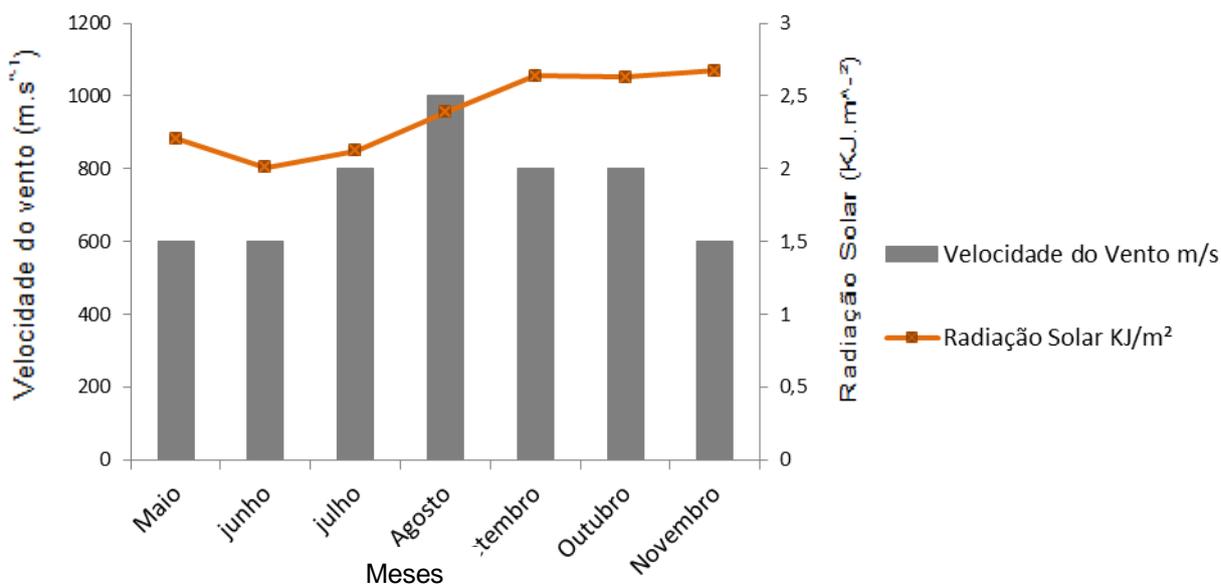
Com o resultado da análise de solo, foi realizada a manutenção da fertilidade do solo, conforme exigência do consórcio milho/feijão-fava, adicionando-se 500 g de esterco de vaca curtido por cova. Foram realizadas duas aplicações de extrato de nim (*Azadirachta indica*) para o controle da *Diabrotica speciosa*, uma aplicação feita no décimo primeiro dia após o plantio e outra no décimo terceiro dia, e duas capinas manuais no início do ciclo da cultura.

Foi instalado um sistema de irrigação, na área experimental com microaspersores de 0.79 mm de diâmetro e uma vazão de 30 L h<sup>-1</sup>, abrangendo um raio molhado de 5.5 m de diâmetro molhado sob uma pressão de trabalho de 1.5 kgf cm<sup>-2</sup>. Com períodos de falta de água no campo, a irrigação foi realizada até a semana que antecedeu a primeira colheita.

Durante a condução do experimento, a maior temperatura média mensal registrada foi de 25.5°C, no mês de novembro; a maior umidade média de 66.5% no mês de novembro e precipitação média de 40 mm no mês de outubro, conforme a Fig. 1. As maiores médias mensais de radiação e velocidade dos ventos foram registradas em novembro e agosto como mostra a Fig. 2, INMET (2018).



**Fig. 1.** Dados meteorológicos de valores médios de temperatura, umidade e precipitação em Montes Claros no ano de 2018



**Fig. 2.** Dados meteorológicos de valores médios de velocidade do vento e radiação solar em Montes Claros no ano de 2018

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi determinado, mediante contagem diária do número de plântulas emergidas em campo, até que o valor permanecesse constante. Foram consideradas emergidas as plântulas que apresentavam cotilédones acima do nível do solo, e o cálculo do IVE foi realizado, segundo a fórmula proposta por Maguire (1962).

A emergência final de plântulas foi determinada com contagem única, aos 12 dias após semeadura, considerando como emergidas as plântulas que apresentavam os cotilédones acima do solo. O resultado foi expresso em porcentagem.

Foram avaliadas individualmente três plantas na parcela, e a caracterização morfoagronômica foi realizada com base nos descritores recomendados para *Phaseolus lunatus* L., disponível pela International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 2001). Foram avaliados os descritores diâmetro do hipocótilo, comprimento e largura do folíolo primário, número de dias até a floração, início da frutificação, comprimento e largura da vagem, número de sementes por vagem, produção de sementes por parcela e hábito de crescimento.

Todas as análises foram feitas com o auxílio do software R. Após a verificação das pressuposições da ANOVA e a identificação de significância pelo teste F ( $p \leq 0.05$ ), foi feito o agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0.05$ ) com o auxílio do pacote “ExpDes.pt”. Foi realizada a correlação estimada de Pearson entre as variáveis estudadas com a função “cor” e sua representação gráfica foi feita com o auxílio do pacote “ggraph”.

#### 4.1.3 Resultados e Discussão

Conforme observado nos resultados das médias na Tabela 3, houve diferença estatística, em todas as variáveis avaliadas ( $p \leq 0.05$ ), de acordo com o teste de Scott-Knott. O teste de germinação apresentou uma variação de 39% a 92% entre todos os quinze tratamentos. Os tratamentos 1, 3, 4, 5, 9, 13, 14 e 15 apresentaram as maiores médias de plântulas normais não diferindo estatisticamente entre si, com valores médios superiores a 76% (Tabela 3) e diferindo dos demais tratamentos. Não existe atualmente normatização de padrões de comercialização de sementes de feijão-fava, porém, se comparado ao percentual mínimo de germinação para *Phaseolus vulgaris* L. (MAPA, 2013), para produção e comercialização de sementes básicas de 70%, essas variedades estão aptas para a produção e comercialização. Os tratamentos 2, 6, 7, 8, 10, 11 e 12 ficaram abaixo de 64%.

No teste de primeira contagem de germinação (Tabela 3), os tratamentos 5 e 13 apresentaram as maiores médias, ou seja, maiores vigores, não diferindo entre si e diferindo dos demais grupos. Os tratamentos 3 e 6 não apresentaram porcentagem de plântulas normais e, pelo teste de primeira contagem da germinação, foram consideradas as variedades menos vigorosas.

O teor de água, conforme a Tabela 3, teve uma variação entre 8.67% a 12.09%, sendo a maior porcentagem obtida no tratamento 6, diferenciando-se dos demais grupos. Todos os valores obtidos no teor de água encontraram-se abaixo do limite de deterioração das sementes, evidenciando que o ambiente das casas de sementes se encontra adequado para o armazenamento e conservação das sementes. Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), o armazenamento de sementes com teor entre 12 e 14% favorece o aumento da respiração das sementes, resultando em perda de vigor e baixa germinação, além de favorecer a proliferação de pragas, fungos e outros microrganismos tanto externa como internamente.

**Tabela 3** – Valores médios germinação (G), primeira contagem de germinação (PC), peso de 100 sementes (PCS), tamanho das sementes (T Sem), teor de água (TA), matéria seca de sementes (MSS), matéria seca de plântulas (MSP), índice de velocidade de emergência (IVE) e emergência final de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas

Trat	G <sup>a</sup> (%)	PC <sup>a</sup> (%)	TA <sup>a</sup> (%)	PCS <sup>a</sup> (g)	MSS <sup>a</sup> (g)	MSP <sup>a</sup> (g)	IVE <sup>a</sup> (índice)	EF <sup>a</sup> (%)
1	84 a	73 b	10.310 c	34.410 c	32.540 b	0.480 b	10.980 a	98.000 a
2	42 b	19 d	9.150 d	31.140 c	31.640 b	0.200 d	11.140 a	96.000 a
3	81 a	0 e	10.680 c	91.410 a	37.260 a	0.900 a	9.700 a	94.000 a
4	79 a	70 b	8.990 d	34.150 c	33.260 b	0.450 b	8.580 b	81.330 a
5	92 a	82 a	8.670 d	31.480 c	32.360 b	0.580 b	10.030 a	88.660 a
6	39 b	0 e	12.090 a	75.220 b	36.060 a	0.190 d	8.890 b	79.660 b
7	54 b	29 d	9.280 d	36.390 c	34.790 a	0.310 c	10.280 a	92.330 a
8	61 b	57 c	10.400 c	27.930 c	32.340 b	0.370 c	8.260 b	79.660 b
9	78 a	57 c	10.130 c	30.030 c	32.190 b	0.360 c	11.390 a	100.00 a
10	47 b	41 c	9.560 d	35.010 c	35.630 a	0.220 d	5.790 c	66.660 b
11	64 b	35 c	11.220 b	32.200 c	32.790 b	0.360 c	10.770 a	94.000 a
12	58 b	47 c	9.230 d	35.000 c	32.510 b	0.300 c	10.400 a	94.330 a
13	91 a	90 a	10.750 c	32.380 c	32.720 b	0.510 b	9.630 a	87.000 a
14	78 a	69 b	9.250 d	32.260 c	32.420 b	0.470 b	10.700 a	96.330 a
15	76 a	71 b	10.410 c	30.150 c	31.800 b	0.370 c	10.240 a	66.660 b
CV(%) <sup>b</sup> 0	17.14	20.180	3.500	9.950	4.730	25.410	9.160	9.490

<sup>a</sup>As médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

<sup>b</sup>CV: coeficiente de variação residual.

O de peso de 100 sementes apresentou variação de 30.02 g a 91.41 g, o tratamento 3 foi o de maior peso (91.41 g), diferindo-se estatisticamente dos demais grupos (Tabela 3). O peso de cem sementes é uma variável de importante mensuração, para a cultura da fava, pois se associa com o tamanho das sementes e com a preferência do mercado consumidor dos seus grãos que, dependendo da região, tem opção por um tamanho específico, bem como pela cor do tegumento específica, além dessa coloração possibilitar diferenciar os mais variados lotes.

O resultado do peso de cem sementes permitiu classificar as sementes das variedades 3 e 6 por tamanho grande, a variedade 8 foi classificada como pequena e as demais foram classificadas por sementes de tamanho normal (Vilhordo, 1996). Logo essa característica mostra a diversidade existente de tamanhos entre as variedades crioulas de feijão-fava testadas, conforme a Fig. 3.



**Fig. 3.** Imagem das quinze variedades de sementes crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas

Estudos realizados por Advíncula *et al.* (2015) encontraram maior peso de 100 sementes, na variedade crioula Orelha de Vó, com 69.13 g; Nobre *et al.* (2012) encontraram valores de 31.7 g a 93.20 g. Ambos os trabalhos estudaram variedades crioulas de feijão-fava do Norte de Minas. Já Neto *et al.* (2015), estudando 10 acessos de feijão-fava, provenientes de coletas realizadas pela Embrapa e EMEPA-PB, encontraram médias de peso de 100 sementes entre 40.07 g a 89 g.

No teste de matéria seca de sementes, os tratamentos 3, 6, 7 e 10 apresentaram as maiores médias, não diferindo entre si e diferindo-se dos demais grupos, como mostra a Tabela 3.

O peso da matéria seca de plântulas na variedade 3 obteve a maior média, diferenciando das demais. A massa seca é um parâmetro eficiente para avaliar o vigor, pois quanto maior o acúmulo de matéria seca, mais vigorosa é a plântula (Amaro *et al.*, 2015; Bisognin *et al.*, 2016), apresentando, assim, a variedade 3 o maior vigor, conforme a Tabela 3.

As variedades 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 14 e 15, que se referem a 73.3% das variedades, evidenciaram as maiores médias, variando de 9.63 a 11.39 quanto ao índice de velocidade de emergência, sendo iguais entre si e diferentes das demais, indicando maior vigor nesses tratamentos e, conseqüentemente, maior uniformidade e rápida emergência em campo. Nobre *et al.* (2012), avaliando a qualidade fisiológica em dez variedades de feijão fava, obtiveram índice de velocidade de emergência variando de 2.41 a 6.19, sendo as médias do IVE do presente trabalho superiores, com exceção somente para a variedade 5 que apresentou o IVE de 5.79. A qualidade fisiológica de sementes é importante, porque há influência direta na formação e no desenvolvimento da plântula, permitindo um índice de velocidade maior para os processos metabólicos, contribuindo em uma emissão mais rápida e uniforme da raiz primária no processo de germinação (Minuzzi *et al.*, 2010).

Na emergência final, os tratamentos 6, 8, 10 e 15 apresentaram as menores médias, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, que apresentaram as maiores médias e, portanto as maiores porcentagens de emergência final.

Foi observado que, em condições de campo, a porcentagem de emergência foi superior ao teste de germinação. Isso pode ser um fator favorecido pela ampla base genética das variedades crioulas e sua adaptação ao ambiente. De acordo com Melo *et al.* (2016), as sementes de melhor qualidade fisiológica são menos sensíveis às condições de campo, como estresse hídrico após a semeadura e menos suscetíveis ao ataque de pragas, no início do desenvolvimento, além de proporcionar uniformidade e rápido desenvolvimento do estande, dificultando o aparecimento de plantas invasoras.

A avaliação da qualidade fisiológica da semente, para fins de semeadura em campo e de comercialização, é fundamentalmente baseada no teste de germinação, conduzido sob condições favoráveis de umidade, temperatura e substrato, o que permite expressar o potencial máximo de produção de plântulas normais (Larré *et al.*, 2007). Porém o que se observou, no presente trabalho, é que os tratamentos 3 e 6, classificados como sementes de tamanho grande, tiveram seus resultados comprometidos no teste de primeira contagem da germinação e no teste de germinação. Observou-se que as variedades 3 e 6, no teste de primeira contagem da germinação, ainda não apresentavam sistema radicular e parte aérea, apresentando baixo vigor e, em decorrência, comprometendo também o teste de germinação. As normas utilizadas pelas regras, para a análise de sementes, não consideram a variabilidade de formas e tamanhos dentro da espécie *Phaseolus lunatus* L. e essa diversidade intraespecífica deve ser respeitada, a fim de não comprometer os resultados dos testes realizados sob condições controladas.

A Fig. 4 mostra os testes avaliados por estimativas de correlação para as quinze variedades crioulas de feijão-fava utilizando a correlação de Pearson. Foi observado, no presente trabalho, que o teor de água não teve correlação linear com nenhuma das variáveis analisadas e, possivelmente, a umidade da semente, em todos os tratamentos, não interferiu na sua qualidade e nem na produtividade de grãos, conforme mostra a Fig. 4.

Já o peso de 100 sementes teve correlação linear positiva forte com a matéria seca de sementes, ou seja, à medida que o peso das sementes ou o tamanho das sementes aumenta, a matéria seca de sementes também aumenta. Esses parâmetros da qualidade física das sementes das quinze variedades de feijão-fava apresentam correlação negativa, tanto com o teste de germinação como os testes de vigor.

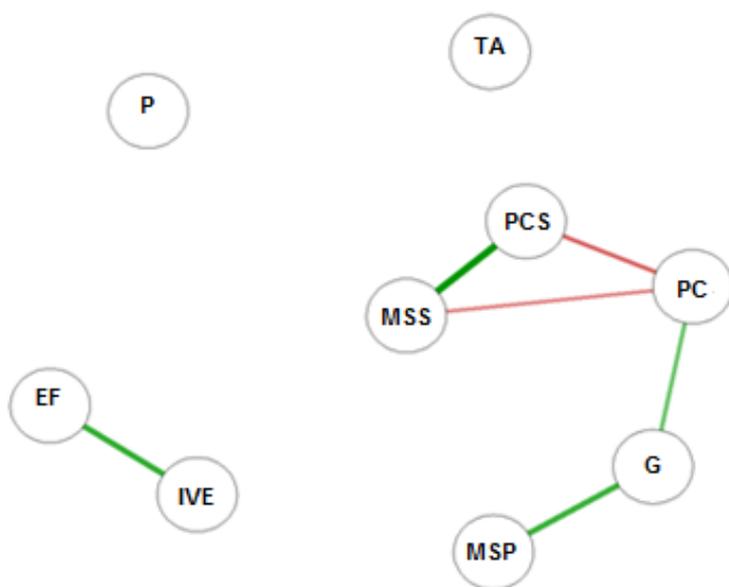
O teste de germinação teve associação positiva com os testes de matéria seca de plântulas e primeira contagem da germinação. O teste de primeira contagem de germinação teve correlação negativa tanto com a matéria seca de sementes quanto com o peso de 100 sementes. Portanto quanto menor o tamanho da semente maior a velocidade de germinação e o desenvolvimento das plântulas. Kopper *et al.* (2010) verificaram que sementes de *Cariniana estrellensis* de menor tamanho possuem relação superfície/volume maior que sementes grandes e podem facilitar a obtenção de água, para o início do processo de germinação,

entretanto apresentam menor quantidade de reservas. Pardo *et al.*, (2015) constataram que sementes de menor tamanho de *Glycine Max* apresentam maior índice de velocidade de germinação e emergência, porém Nunes *et al.* (2015) relataram que sementes de algodão de menor tamanho apresentam menor qualidade fisiológica.

Segundo Marcos- Filho (2015), as sementes menores possuem relação superfície/volume superior à das sementes de maior tamanho. Isso faz com que a embebição de sementes menores geralmente seja mais rápida acarretando vantagens quanto ao estabelecimento da planta no campo.

As variáveis índice de velocidade de emergência e emergência final estão fortemente correlacionadas entre si. Entretanto não houve correlação desses testes de campo com os testes da qualidade fisiológica de laboratório.

Já a produtividade de grãos não teve correlação linear com nenhum dos testes que avaliaram a qualidade das sementes de feijão-fava (Fig. 4). Isso demonstra que não necessariamente variedades de sementes de feijão-fava relativamente pequenas tenham potencial fisiológico superior ao das sementes maiores.



**Fig. 4.** Correlação de Pearson para qualidade de sementes significativa pelo teste de t ( $P \leq 0.05$ ) de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas. PCS: peso de 100 sementes em g; TA: teor de água em %; G: Germinação em %; PC: primeira contagem de germinação em %; IVE: índice de velocidade de emergência; EF: emergência final em %; MSS: matéria seca de sementes em g e MSP: matéria seca de plântulas em g; P: produtividade de grãos em  $\text{kg ha}^{-1}$

As variáveis testadas em campo evidenciam que não houve diferença estatística somente nas médias da altura do hipocótilo das variedades testadas (Tabela 4). Quanto ao diâmetro do hipocótilo, formaram-se dois grupos, 46.6% das variedades apresentaram os

maiores diâmetros e 53 3% os menores diâmetros. Já para as características comprimento e largura dos folíolos, as variedades 3 e 6 apresentaram as maiores médias.

Avaliando os caracteres de plântulas de variedades crioulas de feijão-fava, para a variável altura do hipocótilo (Tabela 4), não houve diferença estatística, ou seja, considera-se que essa variável não foi eficiente para estratificar as variedades crioulas de feijão-fava. Para as demais características, houve diferença estatística, apresentando as variedades crioulas 3 e 6 os maiores valores quanto ao diâmetro do hipocótilo, comprimento e largura do folíolo primário.

**Tabela 4** – Médias das variáveis altura (AH) e diâmetro do hipocótilo (DH), comprimento (CF) e largura do folíolo (LF) de quinze variedades crioulas de feijão-fava de casas de sementes do Norte de Minas

Trat	AH <sup>a</sup> (cm)	DH <sup>a</sup> (mm)	CF <sup>a</sup> (cm)	LF <sup>a</sup> (cm)
1	4.440 a	3.630 a	6.480 b	6.330 b
2	4.040 a	3.300 b	5.890 c	5.690 c
3	5.320 a	3.690 a	8.990 a	8.060 a
4	4.620 a	3.440 a	5.910 c	6.000 b
5	4.610 a	3.030 b	6.190 b	5.780 c
6	3.910 a	3.660 a	8.530 a	7.970 a
7	4.720 a	3.250 b	5.840 c	6.280 b
8	4.410 a	3.260 b	5.010 c	4.980 c
9	4.510 a	3.510 a	5.660 c	5.600 c
10	4.240 a	3.160 b	5.010 c	5.170 c
11	4.430 a	2.940 b	6.380 b	6.330 b
12	5.220 a	3.810 a	5.970 c	6.640 b
13	4.810 a	3.390 b	6.720 b	6.270 b
14	4.640 a	3.820 a	6.920 b	6.740 b
15	4.760 a	3.220 b	5.260 c	5.360 c
CV(%) <sup>b</sup>	23.910	14.450	17.410	14.990

<sup>a</sup>As médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

<sup>b</sup>CV: coeficiente de variação residual.

Houve efeito significativo entre as variedades crioulas de fava, exceto para a variável início de florescimento (Tabela 5). O início de florescimento se deu entre 38 a 42 dias, inferindo-se que todas as variedades crioulas de feijão-fava do presente trabalho foram sensíveis ao fotoperíodo, por serem cultivadas no período outono-inverno, proporcionando respostas positivas ao florescimento em dias curtos. Em experimentos realizados por Souza (2018), o feijão-fava respondeu ao fotoperíodo para as condições de Seropédica - RJ. A precocidade é uma característica importante à cultura do feijão-fava, pois proporciona o seu cultivo por mais de uma vez ao ano, favorecendo a produção de outra cultura, como no caso do milho plantado em consórcio.

A frutificação deu início entre 57 a 59 dias, após a semeadura, sendo mais precoces as variedades crioulas 2, 3, 4 e 6 (Tabela 5).

A maior média de comprimento de vagem foi apresentada pela variedade 3, com 8.75 cm, e a menor média pela variedade crioula 2, com 4.59 cm. Com relação à largura da vagem, as maiores médias foram obtidas nas variedades 3 e 6, não diferindo entre si e diferenciando dos demais. O número de sementes por vagem variou de 2.18 a 2.93, tendo as variedades

crioulas 1, 7, 9, 11, 14 e 15 o maior número de sementes por vagem, não diferindo entre si e diferindo dos demais grupos.

Todas as variedades crioulas, testadas no presente trabalho, apresentaram hábito de crescimento indeterminado, com desenvolvimento da gema terminal em uma guia. Portanto o milho crioulo plantado, em consórcio com o feijão-fava, além dos benefícios do consórcio, pode ser utilizado também como tutor. As cultivares com hábitos de crescimento indeterminado possuem maior produtividade que as de hábito determinado, porque o desenvolvimento vegetativo prossegue com a emissão de novos nós, em que são emitidas novas florações, proporcionando um potencial de produtividade maior, segundo Oliveira *et al.* (2011). No entanto estudos realizados por Neto *et al.* (2015) encontraram maior produtividade de grãos em um acesso ao feijão-fava de hábito de crescimento determinado, em consórcio com a palma forrageira.

**Tabela 5** – Médias das variáveis comprimento da vagem (CoV), largura da vagem (LaV), número de sementes por vagem (NSPV), início do florescimento (InFlo), início da frutificação (InFrut), produtividade de grãos (P) de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas

Trat	InFlor <sup>a</sup> (dias)	InFrut <sup>a</sup> (dias)	CoV <sup>a</sup> (cm)	LaV <sup>a</sup> (cm)	NSPV <sup>a</sup> (Un)	P <sup>a</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )
1	39 a	58 a	5.580 c	1.430 b	2.910 a	788.750 a
2	39 a	57 b	4.590 e	1.420 b	2.400 b	97.930 b
3	38 a	57 b	8.750 a	1.690 a	2.320 b	447.150 b
4	40 a	58 b	5.150 d	1.380 b	2.460 b	477.820 b
5	40 a	58 a	4.770 e	1.350 b	2.450 b	353.000 b
6	39 a	57 b	8.030 b	1.680 a	2.180 b	969.630 a
7	42 a	58 a	4.830 e	1.400 b	2.930 a	623.430 a
8	42 a	59 a	5.360 c	1.460 b	2.520 b	346.470 b
9	41 a	59 a	5.130 d	1.480 b	2.710 a	293.830 b
10	42 a	59 a	5.570 c	1.390 b	2.470 b	254.050 b
11	39 a	59 a	5.950 c	1.450 b	2.640 a	758.450 a
12	40 a	58 a	5.560 c	1.410 b	2.480 b	488.890 b
13	38 a	59 a	4.960 d	1.470 b	2.360 b	174.800 b
14	39 a	59 a	5.670 c	1.390 b	2.910 a	999.390 a
15	40 a	59 a	5.240 d	1.410 b	2.790 a	388.610 b
CV(%)	4.450	1.730	3.790	3.500	5.580	53.760

<sup>a</sup>As médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

<sup>b</sup>CV: coeficiente de variação residual.

As variedades de feijão-fava mais produtivas foram a 1, 6, 7, 11 e 14 não diferindo entre si e diferindo dos demais grupos. As variações da produtividade, encontrada no presente trabalho, de 623.43 kg ha<sup>-1</sup> a 999.39 kg ha<sup>-1</sup>, são superiores às médias encontradas na região Norte do estado de Minas Gerais. As variedades mais produtivas, também, apresentaram maiores IVE, EF, e NSPV, exceto a variedade 6.

Silva *et al.* (2015), estudando 24 acessos do Banco Ativo de Germoplasma da UFPI, avaliados de fevereiro a agosto, encontraram médias superiores ao presente trabalho, em relação aos caracteres comprimento e largura da vagem (4.94-9.85 cm), início do florescimento (89.7 dias) e maturação de frutos (130.87 dias). Somente quanto ao número de sementes por vagem é que foram encontrados resultados aproximados (2,17-2.95 sementes).

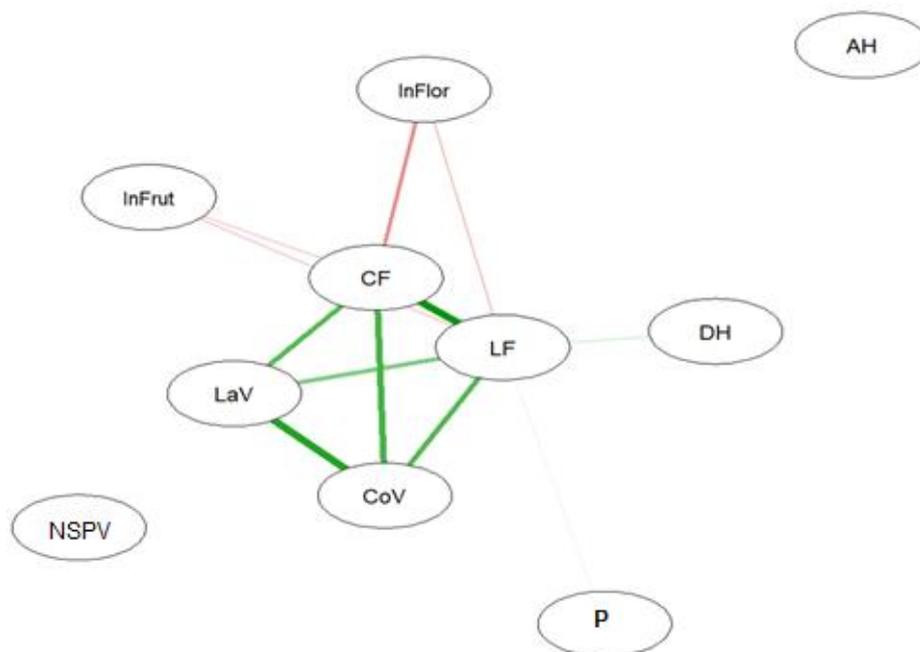
Oliveira *et al.* (2011), estudando oito acessos de feijão-fava obtidos de produtores e feiras livres de municípios do Rio Grande do Norte, encontraram médias quanto ao comprimento de vagens de 5.95 a 5 cm, largura da vagem de 1.77 a 1.17 cm e o tempo médio de floração de 55 a 107 dias, sendo o acesso de 55 dias, com hábito de crescimento determinado, o mais produtivo com 920.16 kg ha<sup>-1</sup>.

Em trabalhos realizados por Oliveira e colaboradores (2014), avaliando o desenvolvimento do feijão-fava de hábito determinado sob estresse hídrico e com irrigação plena com plantio feito em março, o florescimento foi obtido de 34 (tratamento sob estresse hídrico na fase vegetativa 1) a 40 dias, após a emergência e a maturação entre 70 a 76 dias, após a emergência, não diferindo entre si os tratamentos.

Pela estimativa da correlação de Pearson na Fig. 5, verificou-se que as variáveis comprimento do folíolo, largura do folíolo, comprimento da vagem e largura da vagem apresentaram correlação linear positiva e forte entre si.

O início do florescimento e o início da frutificação tiveram correlação linear negativa com o comprimento e largura do folíolo, podendo ter sido fortemente influenciado pelas condições ambientais, conforme a Fig. 5. O diâmetro do hipocótilo teve correlação positiva e fraca com a largura do folíolo. As variáveis altura do hipocótilo e sementes por vagem não apresentaram correlação linear com nenhuma das variáveis analisadas. Já a produtividade de grãos apresentou uma correlação linear positiva e fraca com a largura do folíolo (Fig. 5).

A obtenção de variáveis correlacionadas à produtividade de grãos é de grande importância, em programas de melhoramento, no entanto a correlação possibilita ao melhorista identificar as mudanças que ocorrem em um caráter em função da seleção de outro caráter correlacionado e ele (Ramalho *et al.*, 2003).



**Fig. 5.** Correlação estimada de Pearson significativa pelo teste de t ( $P \leq 0.05$ ) de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes de casas de sementes do Norte de Minas. AH: altura, DH: diâmetro do hipocótilo, CF: comprimento do folíolo, LF: largura do folíolo, CoV: comprimento da vagem, LaV: largura da vagem, SPV: sementes por vagem, InFlo: início do florescimento, InFrut: início da frutificação, P: produtividade de grãos

Estudos realizados por Silva *et al.* (2019), com variedades crioulas de feijão-fava, a produtividade apresentou correlação linear positiva com as variáveis massa de cem sementes e sementes por vagem. As variáveis comprimento e largura de vagem também se correlacionaram positivamente. Já a massa de cem sementes correlacionou negativamente com as variáveis sementes por vagem e vagens por planta.

Assunção Filho *et al.* (2011) estimaram a correlação, em 49 populações de feijão-fava do Banco Ativo de Germoplasma da UFPI, e os caracteres largura da vagem e número vagem por planta apresentaram alta correlação com a produção de grãos; o comprimento da vagem apresentou correlação positiva com número de vagem por planta, largura e espessura de vagem, número de locus por vagem e produção de grãos por planta.

#### 4.1.4 Conclusões

As variedades crioulas de feijão-fava apresentaram ampla variabilidade na qualidade física e fisiológica das sementes.

As variedades de sementes de tamanho grande (3 e 6) tiveram resultados dos testes de germinação e de primeira contagem da germinação não compatíveis com os resultados obtidos no campo. Há necessidade de adequação dos tempos de primeira contagem e contagem final

do teste-padrão de germinação, considerando a variabilidade do tamanho de sementes das variedades de feijão-fava, fator que afeta o seu potencial fisiológico.

As variáveis diâmetro do hipocótilo e comprimento e largura do fóliolo apresentaram eficientes para estratificar as variedades de feijão-fava.

O início do florescimento ocorreu entre 39 a 42 dias, e as variedades mais produtivas foram a Amarelinha, Fava carioca, Três meses, Mulatinha branca e Anduzinha, com rendimento variando de 999.39 a 623.43 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Não foi possível estimar correlação linear de Pearson entre a produtividade e os testes de qualidade de sementes.

A variável largura do fóliolo apresentou correlação com a produtividade de grãos.

**Agradecimentos e financiamento:** Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

#### 4.1.5 Referências

- Advíncula, T. L., De Nadai, F. B., Nobre, D. A. C., Ferreira, É. N. M. B., Júnior, D. D. S. B., & da Costa, C. A., 2015. Qualidade física e fisiológica de sementes de *Phaseolus lunatus* L. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 10(3), 341-346. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i3a2548>.
- Amaro, H. T., David, A. M., Assis, M. O., Rodrigues, B. R., Cangussú, L. V., & Oliveira, M. B., 2015. Testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro. **Revista de Ciências Agrárias**. 38(3), 383-389.
- Assunção Filho, J. R. de Lopes, Â. C. de A. Gomes, R. L. F. Silva, R. N. O. Silva, K. J. D. e. Divergência genética em feijão-fava. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil: [anais]. Búzios: SBMP, 2011.
- De Azevedo, J. N., Franco, L. J. D., & Araújo, R. D. C., 2003. **Composição química de sete variedades de feijão-fava**. Embrapa Meio-Norte: Comunicado Técnico, 152. 4p.
- Bisognin, M. B., Kulczynski, S. M., Ferrari, M., Gavigli, R., Pelegrin, A. J. D., & Souza, V. Q. D., 2016. Desempenho fisiológico de sementes olerícolas em diferentes tempos de hidrocondicionamento. **Revista de Ciências Agrárias**, 39(3), 349-359. <https://doi.org/10.19084/RCA15163>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. **Regras para análise de sementes**, first ed. Brasília, Distrito Federal.
- Carvalho, N. M.; Nakagawa, J., 2012. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**, fifth ed. Jaboticabal, São Paulo.
- Cunha, F. L., 2013. **Sementes da paixão e as políticas públicas de distribuição de sementes na Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 184f.
- Guimarães, W. N., Martins, L. S., Silva, E. F. D., Ferraz, G. D. M., & Oliveira, F. J. D., 2007. Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus*

- L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 11(1), 37-45.  
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100005>
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. **Estações automáticas** - gráficos.  
[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf) (accessed 10 October 2019).
- IPGRI - International Plant Genetic Resources Institute, 2001. **Descritores para *Phaseolus lunatus* (Feijão-espadinho)**. International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 44p.
- Kopper, A. C.; Malavasi M. M.; Malavasi U. C. Influência da temperatura e do substrato na germinação de sementes de *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 160-165, 2010.
- Larré, C. F., dos Santos Zepka, A. P., & de Moraes, D. M., 2007. Testes de germinação e emergência em sementes de maracujá submetidas a envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Biociências**. 5(S2), 708-710.
- Lemos, L. B., Oliveira, R. S. D., Palomino, E. C., & Silva, T. R. B. D., 2004. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 39(4), 319-326.
- Maguire, J. D., 1962. Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. **Crop Science**. 2(2), 176-177.
- MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2013. **Instrução normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013**. <http://www.agricultura.gov.br> (accessed 10 July 2019).
- Marcos-Filho, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 660p, 2015.
- Melo, D.; Brandão, W. T. M.; Nóbrega, L. H. P.; Werncke, I. Qualidade de sementes de soja convencional e Roundup Ready (RR), produzida para consumo próprio e comercial. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 300-309, 2016.
- Munizzi, A; Braccini.; A.L.; Rangel, MA. S; Scapim; C.A; Albrecht, L.P. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**: v.32, n.1, p.176-185, 2010.
- Nobre, D. A. C., Junior, D. S. B., Nobre, E. C., Santos, J. M. C., Miranda, D. G. S., & Alves, L. P., 2012. Qualidade física, fisiológica e morfologia externa de sementes de dez variedades de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Brasileira de Biociências**. 10(4), 425.
- Nunes, T. C.; Prado, T. R.; Ribeiro, E. B.; Vale, W. S.; Morais, O. M.; Desempenho fisiológico de sementes de algodão cultivadas em Luís Eduardo Magalhães, Bahia. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 69-74, 2015.
- Oliveira, A. E. D. S., Simeão, M., Mousinho, F. E. P., & Gomes, R. L. F., 2014. Desenvolvimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) sob déficit hídrico cultivado em ambiente protegido. **Holos**. 30(1), 143.
- Oliveira, F. N., Torres, S. B., & Bebedito, C. P., 2011. Caracterização botânica e agrônômica de acessos de feijão-fava, em Mossoró, RN. **Revista Caatinga**. 24(1), 143-148.
- Pardo, F. F.; Binotti, F. F. S.; Cardoso, E. D.; Costa, E. Qualidade fisiológica de sementes de soja esverdeadas em diferentes tamanhos. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 39-43, 2015.

- Ramalho, M.A.P., Santos, J.B., Zimmermann, M.J.O. (1993) **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Editora UFG, Goiânia, 271p.
- Santilli, J., 2009. **Agrobiodiversidade e direito dos agricultores**. São Paulo, São Paulo.
- Santos, D., Corlett, F. M. F., Mendes, J. E. M. F., & Wanderley Júnior, J. S. A., 2002. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 37(10), 1407-1412. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001000008>
- SEAPA – Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais, 2018. **Fava**. [http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil\\_fava\\_nov\\_2018\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_fava_nov_2018[1].pdf) (accessed 20 November 2018).
- Da Silva, V. B., Gomes, R. L. F., de Almeida Lopes, A. C., dos Santos Dias, C. T., & Silva, R. N. O., 2015. Genetic diversity and promising crosses indication in lima bean (*Phaseolus lunatus*) accessions. **Semina: Ciências Agrárias**. 36(2), 683-692. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p683>.
- Silva, S. I. A; Souza, T.; Santos, D.; Souza, R. F. S. Avaliação dos componentes de produção em variedades crioulas de fava cultivadas no Agreste da Paraíba. **Revista de Ciências Agrárias**. 42(3): 731-742, 2019.
- Soto, J. L. L., Corral, J. A. R., González, J. D. J. S., & Ildefonso, R. L., 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp) en la República Mexicana. **Revista Fitotecnia Mexicana**. 28(3), 221-230.
- Souza, T. P.; Abboud, A. C. S., Anelise Dias, Santos Silva, B. S. Seleção de acessos promissores de feijão-fava na Baixada Fluminense, RJ, por meio de descritores morfoagronômicos. **Magistra**, Cruz das Almas – BA, V. 30, p. 211 - 224, 2019.
- Vilhordo, B.W.; Mikusinski, O.M.F.; Burin, M.E. & Gandolfi, V.H. (1996) – Morfologia. In: Araújo, R.S.; Rava, C.A.; Stone, L.F. & Zimmermann, M.J.O. (Coords.) – **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos. p. 71-99.

## 4.2 Artigo 2 – Diversidade genética de variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Semiárido Norte Mineiro

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Agriculture, Ecosystems & Environment.

### Resumo

Este estudo teve por objetivo caracterizar e selecionar por diversidade genética quinze variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Norte de Minas para fornecer subsídios aos programas de melhoramento genético e ampliar o conhecimento para a preservação e manutenção das sementes crioulas em bancos e casas de sementes. Foram utilizados descritores *Phaseolus lunatus* L. (IPGRI, 2001), *Phaseolus vulgaris* L. e *Cajanus cajan* (L.) e variáveis agrônomicas, totalizando 24 variáveis quantitativas e 13 qualitativas. Para a análise estatística, foi utilizado o software R, foi realizada a ANOVA para verificar a variabilidade dos dados quantitativos. Foi realizada análise multivariada, estudo dos componentes principais para os dados quantitativos e a representação gráfica da dissimilaridade pelo dendrograma hierárquico método UPGMA para dados quantitativos, qualitativos e análise conjunta. Para testar a associação entre a matriz obtida, considerando os dados quantitativos, qualitativos e análise conjunta, foi estimada a correlação de Pearson, e a sua significância foi estimada pelo teste Mantel. O presente estudo concluiu que as variedades crioulas de feijão-fava apresentam variabilidade genética identificada, por meio de características morfoagronômicas. Os dois primeiros componentes principais explicaram 65,21% da variância contida nas variáveis originais, sendo a variável mais representativa nos componentes principais 1 a forma da semente, e o comprimento do cacho a mais representativa nos componentes principais 2. O dendrograma obtido pelo método UPGMA apresentou alta confiabilidade, para as variáveis quantitativas e na análise conjunta formando dois grupos dissimilares em cada análise; o dendrograma obtido para as variáveis qualitativas permitiu a formação de três grupos, porém apresentou um baixo coeficiente de correlação cofenética. As variedades crioulas de feijão-fava apresentaram grande variabilidade entre e dentro de cada variedade quanto às variáveis qualitativas, sobretudo, quanto às variáveis de coloração, sendo necessário ajustes nos descritores morfológicos para *Phaseolus lunatus* L. para atender a essa variação existente.

**Palavras-chave:** *Phaseolus lunatus* L. Análise Multivariada. Dendrograma. Componentes Principais.

### Abstract

The objective of this study is to characterise and select, based on genetic diversity, fifteen local varieties of fava beans that are grown in northern Minas Gerais, in order to aid genetic improvement programs and expand knowledge for the preservation and maintenance of local seeds in seed banks and seed houses. The following descriptors were used: *Phaseolus lunatus* L., *Phaseolus vulgaris* L. and *Cajanus cajan* (L.) (Millsp.) and agronomic variables, 24 quantitative and 13 qualitative. The statistical analysis was conducted using R and ANOVA in order to verify the variability of the quantitative data. A multivariate analysis was done, in which a study of the main components of the quantitative data, and a graphic representation of the differences through the UPGMA-method hierarchical dendrogram for quantitative and qualitative data, as well as joint analyses were conducted. In order to test the relationships in the matrix of qualitative and quantitative data, and the join analysis, a Pearson correlation was estimated, and its significance was speculated through a Mantel test. The present study concluded that the varieties of local fava beans have genetic variability, identified by means of morfo-agronomic characteristics. The main components no.1 and no.2 explain 65.21% of the variance in the

original variables, with the most representative variable in the main components no.1 being the shape of the seed and the length of the cluster/bunch being the most representative of the main components no.2. The dendrogram done in accordance with the UPGMA-method shows a high degree of statistical confidence in the quantitative variables and the joint-analysis, both of which had different groupings. The dendrogram for the qualitative variables allows for the formation of three groupings, although it did present a low coefficient of cophenetic correlation. The varieties of fava beans showed great diversity between and within each variety, in relation to the qualitative variables and especially the colour/colouration variables, which prompted adjustments to the morphological descriptors for *Phaseolus lunatus* L in order to study it.

**Keywords:** *Phaseolus lunatus* L. Multivariate analysis. Dendrogram. Main components.

#### 4.2.1 Introdução

O feijão-fava é a segunda Fabaceae mais importante entre as cinco do gênero *Phaseolus* mais cultivadas no mundo (*P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* L. e *P. polianthus* L.), sendo utilizada como fonte de alimento e geração de renda e produzida principalmente pela agricultura familiar (SANTOS 2009). Suas sementes, oriundas de variedades crioulas, possuem grande variação quanto ao tamanho, forma e coloração do tegumento e apresentam adaptabilidade às condições climáticas do semiárido Norte mineiro, caracterizadas por baixas pluviosidade e umidade.

As variedades crioulas são aquelas desenvolvidas pelos próprios agricultores, ao longo do tempo, cujas sementes são passadas de geração a geração e também trocadas entre vizinhos e parentes. Mais do que um patrimônio genético, essas variedades crioulas fazem parte de uma representação cultural, que inclui desde o nome dado a elas até seu uso (BARBIERI, 2012).

As sementes crioulas caracterizadas por apresentar ampla base genética, são conhecidas popularmente por sementes da paixão, da solidariedade, da vida, da gente e mostra a forte relação que tem com os agricultores e agricultoras familiares, indígenas, quilombolas, povos e comunidades tradicionais e que são os responsáveis pela conservação e perpetuação dessas espécies em bancos de sementes familiares ou comunitários.

Uma das estratégias, para a conservação de recursos genéticos, envolve a criação de Bancos de Germoplasma no qual ocorrem rotineiramente atividades de caracterização morfológica, geográfica e molecular dos acessos (HILL *et al.*, 2013; MACIEL *et al.*, 2016; CARVALHO *et al.*, 2017). Outra estratégia importante é a conservação *in situ* on farm cuja conservação se dá em unidades produtivas, praticada há milênios pelos agricultores, fundamenta-se em um contínuo processo de evolução e adaptação, no qual novos variantes surgem e são desafiados pela seleção natural e artificial (STELLA, 2006; EMBRAPA, 2010).

As casas e bancos comunitários de sementes possibilitam a preservação dos recursos genéticos locais, contribuem para a segurança alimentar das comunidades e fortalecem a organização dos grupos, incentivando a participação e a solidariedade (GARCÍA, 2004).

Segundo Silva e Brandão Junior (2018), para os agricultores e agricultoras, além de manter e selecionar genótipos que lhes são úteis, é vital manter a diversidade de cultivos, em

seus sistemas agrícolas, em decorrência de fatores imprevisíveis que põem em risco a produção de alimentos.

Os estudos de divergência genética são importantes para conhecer a variabilidade genética presente em cada genótipo, auxiliando na escolha de progenitores que podem ser usados em futuros programas de melhoramento (CRUZ *et al.*, 2004).

Segundo Coelho *et al.* (2010), estudos referentes à morfologia da planta são necessários e conseguem definir com maior eficiência os genótipos promissores para trabalhos de melhoramento, as variáveis que são relevantes para o estudo da diversidade genética e os caracteres que não contribuem para a separação dos genótipos.

Dentre as técnicas de análise estatística, a análise multivariada é uma importante ferramenta para classificar germoplasmas, ordenar variabilidades contidas em acessos, bem como analisar relações genéticas entre características e materiais vegetais melhorados (IQBAL *et al.*, 2008).

Na predição da divergência genética, vários métodos de análise multivariada podem ser aplicados, como a análise por componentes principais, por variáveis canônicas e os métodos aglomerativos. A escolha do método deve considerar a precisão desejada, a facilidade de análise e a forma com que os dados foram obtidos (Cruz *et al.*, 2012).

Este estudo teve por objetivo caracterizar e selecionar a diversidade genética de quinze variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Norte de Minas para fornecer subsídios aos programas de melhoramento genético e ampliar o conhecimento para a preservação e manutenção das sementes crioulas em bancos e casas de sementes.

#### **4.2.2 Material e Métodos**

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Hamilton de Abreu Navarro e no Laboratório de Análise de Sementes no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (FEHAN – ICA/UFMG), no município de Montes Claros, localizado no Norte de Minas Gerais, sob as coordenadas 16°51'38"S e 44°55'00"W com início no mês de maio de 2018.

Foram caracterizadas quinze variedades de feijão-fava da safra de 2017. As sementes utilizadas foram obtidas de casas de sementes das regiões de Montes Claros (comunidade de Pau d' Óleo), Serranópolis de Minas (comunidade de Touro), Varzelândia (comunidade João Congo) e Grão Mogol (Assentamento Americana) conforme mostra a Fig. 1, localizadas ao Norte do estado de Minas Gerais.



**Fig. 1.** Variedades crioulas de feijão-fava oriundas dos bancos de sementes procedentes do Norte de Minas

1- Três meses, Grão Mogol; 2- Não identificada, Montes Claros; 3- Fava Rajada, Grão Mogol; 4- Olho de Lambu, Serranópolis de Minas; 5- Fava Baetona, Grão Mogol; 6- Fava Carioca, Grão Mogol; 7- Anduzinha, Varzelândia; 8- Fava Leite, Serranópolis de Minas; 9- Três meses rajada, Serranópolis de Minas; 10- Mulatinha, Serranópolis de Minas; 11- Mulatinha Branca, Serranópolis de Minas; 12- Mulatinha Parda, Serranópolis de Minas; 13- Olho de pombo, Serranópolis de Minas; 14- Amarelinha, Serranópolis de Minas; 15- Não identificada, Serranópolis de Minas

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), formado por três blocos com quinze variedades de feijão-fava, a parcela constituída de duas linhas com três plantas por linha, equidistantes 1.20 m. Foram semeadas três sementes de feijão fava por cova, consorciadas com três sementes de milho e, com um mês de emergidas as plantas de feijão-fava, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta de feijão-fava por cova.

O experimento de campo foi realizado em latossolo amarelo distrófico de textura argilosa, a uma altitude de 678m e, segundo Köppen e Geiger, a classificação do clima do tipo Aw, considerado tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso. Os dados meteorológicos foram obtidos do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) foram utilizados valores médios mensais de precipitação, temperatura, umidade, radiação solar e velocidade do vento para a caracterização do clima. A temperatura média no período de maio a novembro variou de 21.5°C a 25.5°C, sendo o mês de julho registrado com 21°C, agosto com 24 °C, setembro e outubro com 25 °C. A precipitação variou de 12 mm em maio, 2 mm em

agosto, 40 mm em outubro e 38 mm em novembro, não ocorrendo precipitações nos meses de junho, julho e setembro. A umidade entre 63% em maio e 66.5% em novembro, registrando valores de 59.5%, 57%, 55.5%, 56%, 63.5% nos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro. A velocidade do vento registrada foi de 1.5 m/s nos meses de maio, junho e novembro, 2 m s<sup>-1</sup> nos meses de julho, setembro e outubro e no mês de agosto 2.5 m s<sup>-1</sup>, a menor radiação solar foi registrada no mês de junho de 804.5 KJ m<sup>-2</sup> e 1069 KJ m<sup>-2</sup> em novembro.

A área experimental possui histórico em produção agroecológica de hortaliças. O preparo do solo foi realizado por aração, gradagem e adubação.

De acordo com o resultado da análise química e física do solo (Tabela 1) e, conforme exigência do consórcio milho com feijão-fava, foram adicionados 500g de esterco bovino curtido por cova. Foram realizadas duas capinas manuais no início do ciclo da cultura e duas aplicações (no décimo e décimo terceiro dia após o plantio) de extrato de Neem (*Azadirachta indica*) para o controle da *Diabrotica speciosa*.

**Tabela 1-** Atributos químicos e físicos do solo da área experimental

pH	P re	P-M	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	MO	CO
H <sub>2</sub> O	mg L <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----								%	-dag kg <sup>-1</sup> -
7.700	33.830	95.000	228	7.360	2.780	0.00	0.820	10.720	10.720	11.540	93	3.080	1.780
	A. Grossa	A. Fina	Site		Argila								Classe Textural
	-----dag kg <sup>-1</sup> -----												
	12.600	19.400		50.000	18.000								Média

A área foi irrigada com microaspersores de 0.79 mm de diâmetro e uma vazão de 30 L h<sup>-1</sup>, abrangendo um raio molhado de 5.5 m de diâmetro molhado sob uma pressão de trabalho de 1.5 kgf cm<sup>2</sup>. A irrigação foi fornecida até uma semana antes da primeira colheita.

Foram avaliadas três plantas por parcela e utilizados descritores morfológicos recomendados para *Phaseolus lunatus* L. (IPGRI, 2001), *Phaseolus vulgaris* L. (SILVA, 2005) e *Cajanus cajan* (L.) (Millsp.) (MAPA, 2002) e caracteres agrônômicos, totalizando 24 caracteres quantitativos e 13 qualitativos.

Os caracteres quantitativos avaliados foram:

Sementes: comprimento, largura, espessura, forma mensurada pelo grau de achatamento ( $H=E/L$ ) sendo consideradas achatadas (< 0.69), semicheias (0.70 a 0.79) e cheias (> 0.80), comprimento e largura do hilo, comprimento e largura do halo, peso de cem sementes classificando as sementes por tamanho em (pequenas (menores que 30 g), médias (de 30 a 40 g), normal (maiores que 40 a 60 g) e grandes (maiores que 60 g), segundo Mateo Box citado por Vilhordo (1996) matéria seca e teor de água (BRASIL, 2009); Plântulas: comprimento e largura do folíolo primário, altura e diâmetro do hipocótilo; Flores: início do florescimento e tamanho do botão floral; Fruto: início da frutificação, comprimento do cacho,

comprimento e largura da vagem, número de sementes por vagem, início da frutificação e rendimento de grãos.

Os caracteres qualitativos avaliados foram:

Sementes: Cor de fundo: (1) verde, (2), branco, (3) cinzento, (4) amarelo, (5) cor de tijolo, (6) castanho-claro, (7) castanho, (8) rosa, (9) vermelho, (10) vermelho-escuro, (11) vermelho-púrpura, (12) preto; Cor padrão: (0) ausente, (1) verde, (2) castanho-claro ou laranja, (3) castanho-escuro, (4) vermelho, (5) vermelho-púrpura, (6) preto; Segunda Cor Padrão: (0) padrão com apenas uma cor/ausente, (1) vermelho-escuro, (2) vermelho-púrpura, (3) preto); Padrão do tegumento: (0) ausente, (1) padrão apenas à volta do auréolo, (2) auréolo distinto com poucos sinais no corpo, (3) auréolo distinto com muitos sinais no corpo, (4) auréolo distinto com manchas em menos de 50% do corpo, (5) auréolo distinto com manchas em mais de 50% do corpo, (6) auréolo semelhante ao padrão- maculado na região do hilo (mais desenvolvidas próximo à micrópila) - presença de alguns sinais, (7) auréolo semelhante ao padrão- maculado na região do hilo e o lado frontal- possível presença de alguns sinais; (8) auréolo semelhante ao padrão- maculado na região do hilo- lado frontal, lado de trás e em baixo; (9) auréolo semelhante ao padrão- maculado na região do hilo- corpo com bandas radiadas a partir da região do hilo; (10) auréolo semelhante ao padrão- maculado na região do hilo- corpo com manchas orientadas radial e transversalmente, (11) corpo dispersamente marmoreado, (12) corpo moderadamente marmoreado, formando algumas manchas, (13) corpo intensamente marmoreado, fundo da semente quase invisível; Textura da testa: (3) lisa, (5) moderadamente enrugada, (7) marcadamente enrugada (IPGRI, 2001); Cor da semente: (1) uniforme, (2) desuniforme; Semente bicolor: (1) sim, (2) não; Venações na testa: (1) sim, (2) não; Brilho: (1) opaco, (2) intermediário, (3) brilhoso; Halo: (1) presente, (2) ausente; Cor do halo: (1) mesma cor da semente, (2) cor diferente da semente; Padrão de distribuição (Coloração): (1) uniforme, (2) manchado, (3) pintado, (4) manchado e pintado, (5) anelar; Plântulas: Cor do cotilédone: (1) branca, (2) verde, (3) vermelho ou púrpura; Cor do hipocótilo (1) verde, (2) vermelho, (3) vermelho-púrpura, (4) púrpura; Marcas transparentes ao longo das nervuras das folhas primárias mais desenvolvidas: (0) ausentes, (3) escassas, (7) extensas; Cor das nervuras das folhas primárias: (1) verde, (2) púrpura); Antocianina nas folhas (0) ausente, (1) presente.

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software R. As variáveis quantitativas referentes às sementes foram estudadas considerando o delineamento inteiramente casualizado (15 tratamentos e 4 repetições) e as demais variáveis quantitativas no delineamento em blocos casualizados (15 tratamentos e 3 blocos), após a verificação das pressuposições da ANOVA e a identificação de significância pelo teste F ( $p \leq 0.05$ ) com o auxílio do pacote *ExpDes.pt*,

Para a análise multivariada, foi realizada a padronização dos dados quantitativos, posteriormente, foi feito o estudo de componentes principais com o auxílio da função *princomp*. A distância Euclidiana média entre os genótipos foi estimada para os dados quantitativos com o auxílio da função *dist*. Os dados qualitativos foram transformados em uma matriz percentual de

ocorrência de cada classe por genótipo, e a dissimilaridade foi estimada considerando a distância euclidiana média conforme descrito por Cruz *et al.*, (2014). A matriz de dissimilaridade conjunta, considerando dados quantitativos e qualitativos, também foi estimada, Para isso, as estimativas de distâncias das matrizes foram normalizadas para o intervalo entre 0 e 1 pela seguinte equação:  $V_n = \frac{1+(V_{Obs}-V_{max})}{V_{max}-V_{min}}$  em que:  $V_n$  é o valor normalizado;  $V_{Obs}$  o valor observado;  $V_{min}$  é o valor mínimo da amostra e  $V_{max}$  o valor máximo da amostra. Em seguida, a matriz conjunta foi obtida pela média ponderada (em função do número de descritores contemplados) das matrizes quantitativa e qualitativa. A representação gráfica dessas três matrizes de dissimilaridade foi feita pelo dendrograma hierárquico obtido pelo algoritmo UPGMA. O ponto de corte foi estabelecido pelo teste Mojena, e a eficiência do dendrograma foi representada pela correlação cofenética, com o auxílio da função *hclust*. Para testar a associação entre a matriz obtida, considerando os dados quantitativos, qualitativos e conjuntos, foi estimada a correlação de Pearson, e a sua significância foi estimada pelo teste Mantel com 1000 simulações, com o auxílio da função *mantel*, *rtest*.

#### 4.2.3 Resultados e Discussão

A análise de variância revelou resultados a 1% de significância pelo teste F apresentando diferenças entre as médias dos tratamentos, sobretudo, nas variáveis testadas em delineamento inteiramente casualizado e rendimento de grãos (Tabela 2), indicando variabilidade genética entre as diferentes variedades crioulas nesses caracteres e possibilitando a inclusão dos referidos caracteres em estudos de distâncias genéticas. É de fundamental importância que o melhorista conheça bem o germoplasma disponível, tanto em relação ao desempenho individual dos diferentes tipos agrônômicos, como também a respeito da capacidade de combinação e a variabilidade genética existente (Streck, 2017).

Foram observadas diferenças significativas a 5% de significância pelo teste de F entre blocos para as variáveis início do florescimento e comprimento da vagem (Tabela 2).

**Tabela 2** – Análise de variância de variáveis quantitativas de quinze variedades crioulas de feijão-fava procedentes do Norte de Minas

Variáveis	QMT <sup>a</sup>	QMB <sup>a</sup>	QMres <sup>a</sup>
Peso de cem sementes	1336.059 **	—	15.268
Massa Seca de sementes	11.874 **	—	2.493
Umidade de sementes	3.631 **	—	0.123
Comprimento da semente	896.730 **	—	0.883
Largura da semente	170.691 **	—	0.425
Espessura da semente	5.869 **	—	0.238
Tamanho da semente	1.766 **	—	0.013
Forma da semente	1.041 **	—	0.052
Comprimento do hilo	10.987 **	—	0.142
Largura do hilo	4.830 **	—	0.109
Comprimento do halo	227.204 **	—	0.225
Largura do halo	200.183 **	—	0.347
Altura do hipocótilo	0.427 NS	0.356 NS	0.469
Diâmetro do hipocótilo	0.224 NS	0.027 NS	0.121
Comprimento da folha primária	3.960 NS	1.054 NS	0.488
Largura da folha primária	2.408 NS	1.209 NS	0.376
Início do Florescimento	4.984 NS	16.088 *	3.207
Início da frutificação	2.022 NS	2.955 NS	1.027
Comprimento do cacho	2.587 NS	0.627 NS	2.725
Largura vagem em campo	0.081 NS	0.016 NS	0.008
Comprimento de vagem	4.116 NS	0.235 *	0.046
Largura de vagem	0.030 NS	0.006 NS	0.002
Número de sementes por vagem	0.167 NS	0.004 NS	0.023
Rendimento de grãos	18958.475**	19204.416 <sup>NS</sup>	5932.593

<sup>a</sup>QMT: quadrado médio do tratamento; QMB: quadrado médio do bloco; QMRes: quadrado médio do resíduo; \* Significativo a 5% pelo teste F; \*\* Significativo a 1% pelo teste F; NS: não significativo pelo teste de F.

Na análise dos componentes principais dos dados, os dois primeiros componentes permitiram explicar 65.21% da variância contida nas variáveis originais (Tabela 3). O componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2) contribuíram com 49.62% e 15.39%, respectivamente. A técnica de componentes principais tem sido de grande utilidade no melhoramento, por permitir simplificar o conjunto de dados, resumindo informações originalmente contidas em um grupo de n variáveis em poucos componentes principais (CRUZ *et al.*, 2014).

Foram considerados relevantes os coeficientes com valores absolutos superiores a 0.7 na análise dos componentes principais. As variáveis que mais contribuíram, para discriminar as variedades nos componentes principais 1, foram peso de cem sementes, massa seca de sementes, comprimento da semente, largura da semente, tamanho da semente, forma da semente, largura do hilo, comprimento e largura da folha primária, largura vagem em campo, o

comprimento de vagem, largura da vagem, sendo a variável forma da semente a variável mais representativa nos CP1. Nos componentes principais 2, o comprimento do hilo e comprimento do cacho foram as variáveis que mais contribuíram para a divergência das variedades, e a variável comprimento do cacho a variável mais representativa nos CP2. Sendo assim, essas variáveis em destaque, encontradas nos CP1 e CP2, são consideradas importantes para a seleção de variedades crioulas de feijão-fava.

**Tabela 3** – Autovetores associados a cada variável, obtidos na análise de componentes principais de quinze variedades crioulas de feijão fava, procedentes do Norte de Minas Gerais

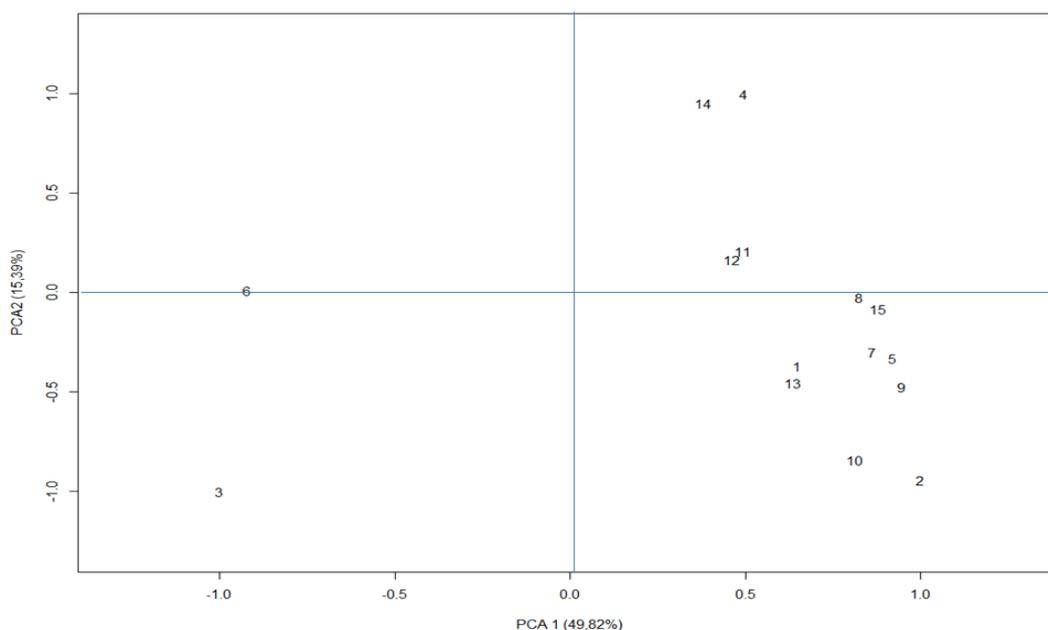
Variáveis	CP1(49.82%)	CP2(15.39%)
Peso de cem sementes	-0.946	-0.267
Massa Seca de sementes	-0.748	-0.296
Umidade de sementes	-0.575	-0.121
Comprimento da semente	-0.979	-0.148
Largura da semente	-0.964	-0.156
Espessura da semente	0.516	-0.595
Tamanho da semente	-0.904	-0.044
Forma da semente	0.977	-0.013
Comprimento do hilo	-0.442	-0.732
Largura do hilo	0.692	-0.622
Comprimento do halo	0.418	-0.641
Largura do halo	0.522	-0.662
Altura do hipocótilo	-0.154	0.042
Diâmetro do hipocótilo	-0.514	0.222
Comprimento da folha primária	-0.914	-0.067
Largura da folha primária	-0.905	0.052
Início do Florescimento	0.466	0.021
Início da frutificação	0.520	0.196
Comprimento do cacho	-0.101	0.833
Largura vagem em campo	-0.877	-0.193
Comprimento de vagem	-0.964	-0.146
Largura de vagem	-0.864	-0.317
Sementes por vagem	0.541	0.208
Rendimento de grãos	-0.469	0.569

CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2

O interesse nessa avaliação reside na possibilidade de se descartarem caracteres que são, muitas vezes, redundantes e que pouco contribuem para a discriminação do genótipo avaliado, reduzindo, dessa forma, mão de obra, tempo e custos despendidos na experimentação agrícola (CRUZ *et al.*, 2011).

A dispersão gráfica das variedades crioulas de feijão-fava, a partir dos escores gerados por esses componentes principais, permitiu visualizar considerável variabilidade na população (Fig. 2). Pode-se observar a associação entre os grupos de variáveis e as variedades crioulas e observa-se que as variedades 8, 15, 7, 5 e 9, localizadas no plano inferior direito, possuem potenciais a terem maiores valores para forma de sementes, as mesmas variedades apresentam, embora fracas, terem maiores valores para início de florescimento. As variedades 1, 13, 10 e 2 ficaram agrupadas por apresentarem maiores valores de largura do hilo, espessura da semente, comprimento e largura do halo e menores valores de altura e diâmetro

do hipocótilo. Foram mantidas juntas as variedades 11 e 12 localizadas no plano superior direito e com maiores valores de sementes por vagem e início de frutificação. As variedades 4 e 14 se mantiveram juntas por apresentarem maiores valores de comprimento de cacho e menores comprimentos de hilo. As variedades 3 e 6 se agruparam pela semelhança de variáveis, como comprimento e largura da semente, tamanho da semente, peso de 100 sementes, comprimento e largura da vagem, comprimento e largura da folha primária e massa seca de sementes.

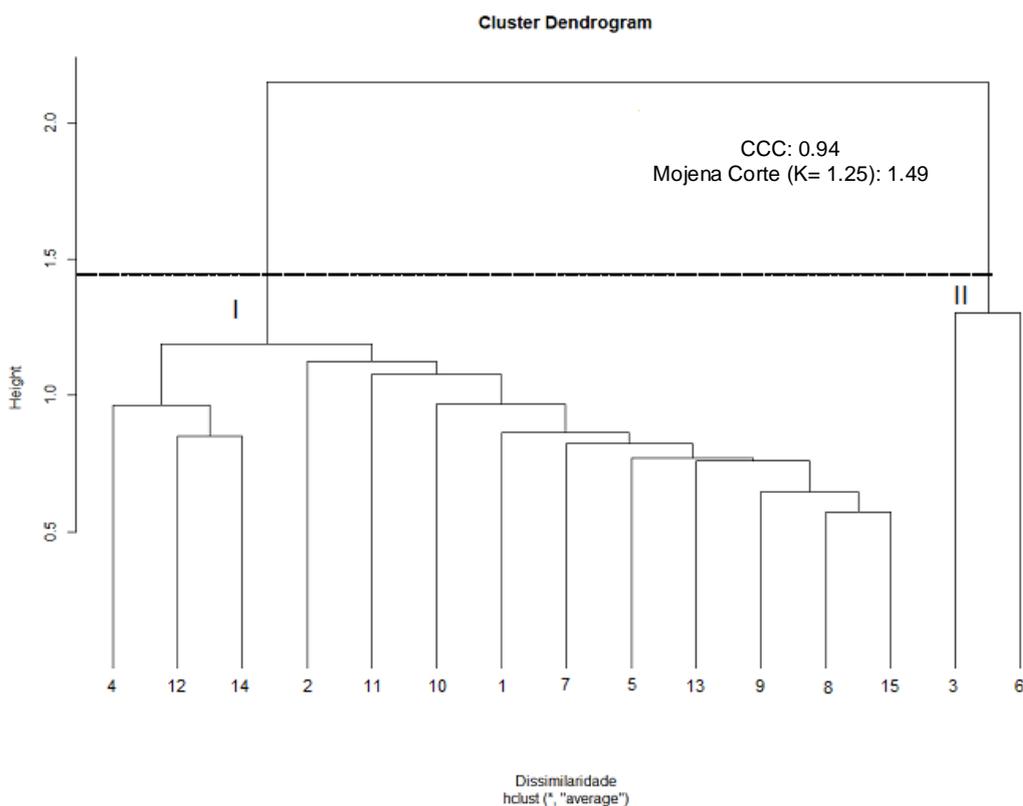


**Fig. 2** – Dispersão gráfica dos dois componentes principais obtidos, a partir de variáveis quantitativas de variedades crioulas de feijão-fava, procedentes do Norte de Minas Gerais

Silva *et al.* (2019), avaliando componentes de produção em variedades crioulas de feijão-fava, encontraram variação total acumulada de 61.36%, na análise dos dois primeiros componentes principais, sendo a produtividade, massa de cem sementes e número de vagens por planta as variáveis que mais contribuíram para a variabilidade dos dados.

Utilizando técnicas multivariadas, para a discriminação de variedades crioulas de feijão-fava, Carmo *et al.* (2013), ao caracterizar e avaliar a divergência genética entre subamostras de feijão-fava, com hábito de crescimento determinado, observaram, por meio de variáveis canônicas que as características avaliadas foram representadas pelas duas primeiras variáveis, explicando uma variação total acumulada de 83.28%.

O dendrograma gerado pelo método UPGMA (FIG. 3), para as variáveis quantitativas, possibilitou a distribuição das quinze variedades crioulas de feijão-fava em dois grupos, conforme demonstra a Fig. 3, apresentando um coeficiente de correlação cofenética (CCC) entre o dendrograma e a matriz de dissimilaridade elevado ( $r = 0.94$ ). O critério de corte proposto por Mojena (1977), para a determinação do número de grupos, foi o de 1.49.



**Fig. 3.** Dendrograma obtido pelo algoritmo UPGMA para a representação gráfica da matriz de dissimilaridade pela distância Euclidiana Média obtida, a partir de variáveis quantitativas de quinze variedades de feijão-fava, procedentes do Norte de Minas

As variedades crioulas de fava que formaram o grupo I, composto por 13 variedades e, conforme apresentado na Fig. 2, estão no plano direito do gráfico de dispersão, tendo como principais características sementes com menor comprimento (menores que 32.31mm) e largura (menores que 27mm), a forma obtida pelo índice H cheia ou arredondada, menor peso de 100 sementes (menores que 36.39g) e, conseqüentemente, menor tamanho, com plantas mais tardias no florescimento (39- 40 dias) e frutificação (58- 59 dias). O grupo II representado na Fig. 3 pelas variedades 3 e 6 apresentaram sementes de maior comprimento (maiores que 47.92mm) e largura (maiores que 33.88mm), sementes achatadas com maior peso de 100 sementes (maiores que 75.22g) e, conseqüentemente, maiores tamanhos, classificadas por sementes grandes e maiores teores de umidade maiores que 10.68%). Segundo classificação morfológica de Baudet, 1977, o grupo II, formado no presente trabalho, pertence ao grupo lima grande, representando o grupo gênico andino ((MARTINEZ-CASTILHO *et al.*, 2008). Já o grupo I formado foi classificado, segundo os mesmos autores, nos grupos sieva e batata, pertencentes ao grupo gênico mesoamericano.

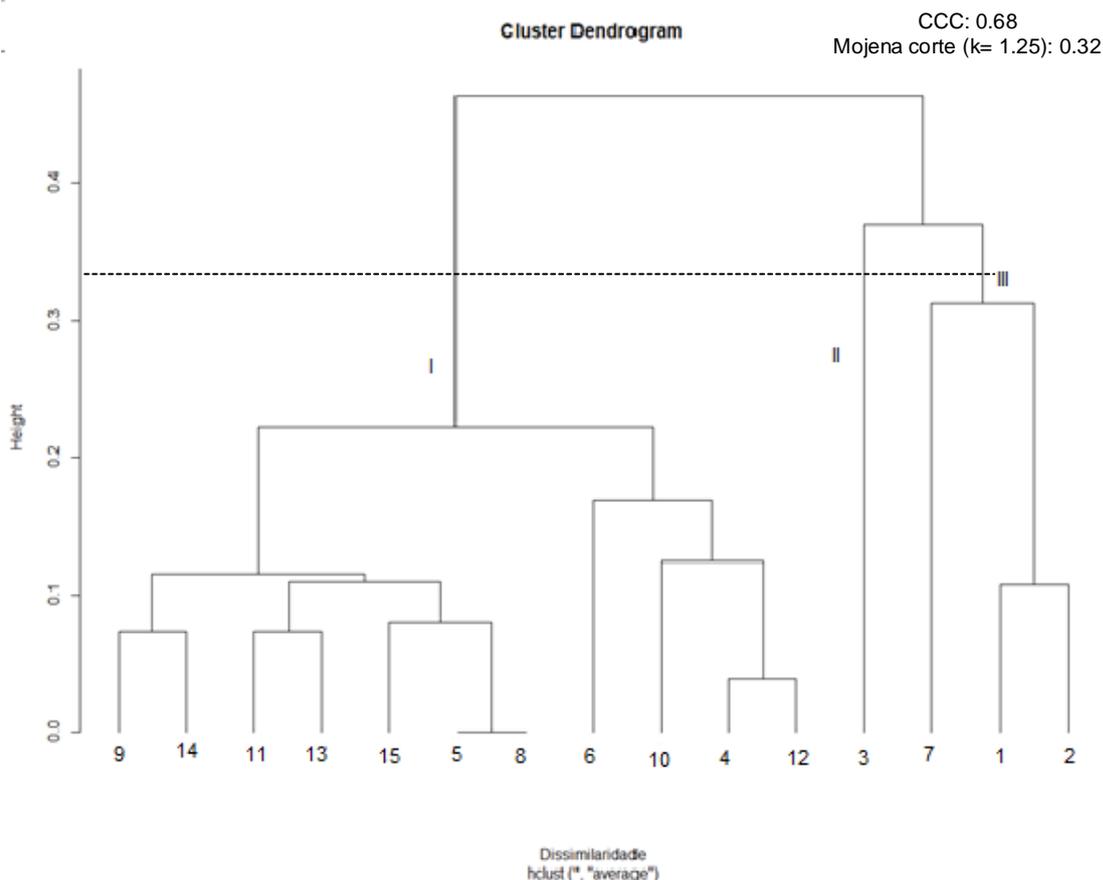
Silva *et al.*, 2015, utilizando o método UPGMA, para 24 acessos de feijão-fava, obtiveram a formação de quatro grupos, sendo classificados pelas variáveis número de dias até o florescimento, número de dias até maturação, número de vagem por planta, comprimento e

largura da vagem e número de sementes por vagem. Estudos realizados por Gonçalves *et al.*, (2016), em 40 variedades tradicionais de *Phaseolus vulgaris* L., oriundos do banco de germoplasma, encontraram 3 grupos distintos pelo método UPGMA, apresentando um coeficiente de correlação cofenética de 0.84.

A análise de agrupamento obtida pelo método hierárquico UPGMA (Fig. 4), com base nos descritores qualitativos, possibilitou a formação de três grupos, sendo eles, o grupo I (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15), grupo II (3) e grupo III (1, 2, 7), apresentando coeficiente de correlação cofenético valor de 0.68 e o critério de corte utilizado, para a determinação do número de grupos, proposto por Mojena (1977) de 0.32.

O grupo II formado pela variedade 3 apresentou como principais características o padrão do tegumento com auréolo distinto com manchas em mais de 50% do corpo, forma das sementes com nota 5, cor púrpura da nervura das folhas primárias mais desenvolvidas e presença de antocianina nas folhas, apresentando ser a mais dissimilar entre todas as variedades crioulas analisadas. Os agrupamentos gerados apresentaram uma baixa consistência para as estimações, baseados na correlação cofenética, demonstrando baixa confiabilidade no dendrograma.

Conforme sugerem Bussab *et al.*, (1990), análises de agrupamento são aceitáveis, se produzirem um coeficiente de correlação cofenético, a partir de 0.80. Entretanto, Rohlf, 1970 considera que coeficiente de correlação cofenético abaixo de 0.7 indica inadequação do método de agrupamento. Cargnelutti Filho *et al.*, (2010) ressalta ainda que se deve avaliar a magnitude dos valores de CCC, tendo em mente que quanto mais próximos os valores forem da unidade, maior será a consistência do padrão de agrupamento. Alguns autores, como Vaz Patto *et al.*, (2004), consideram que coeficientes de correlação cofenética maiores ou iguais a 0.56, refletem boa concordância com os valores de similaridade genética, justificando que coeficientes com valores compreendidos entre 0.60 e 0.80 são, possivelmente, provenientes do pequeno número de variáveis utilizadas. Contudo verifica-se que existem outros fatores que também podem influenciar nos valores dos coeficientes, como tipo e quantidade das variáveis e a qualidade dos dados obtidos.



**Fig. 4.** Dendrograma obtido pelo algoritmo UPGMA, para a representação gráfica da matriz de dissimilaridade pela distância Euclidiana Média obtida, a partir de variáveis qualitativas, avaliadas em quinze variedades de feijão-fava, procedentes do Norte de Minas

A baixa associação encontrada, para as variáveis qualitativas, nos agrupamentos formados neste trabalho, não deve ser desvalorizada, pois trata-se de um material crioulo e se observa que, mesmo dentro de cada variedade, naturalmente, existe uma variabilidade grande. A variabilidade observada nas variedades crioulas de feijão-fava avaliadas foram: nas sementes, a cor de fundo encontrada nas variedades 4 e 9; a cor padrão nas variedades 2 e 11; na segunda cor padrão nas variedades 11 não foi encontrada coloração correspondente aos descritores morfológicos da espécie. Nas variáveis cor de fundo, nas variedades 11, 12 e 13, cor padrão e segunda cor padrão na variedade 13 e cor da semente e semente bicolor na variedade 14, apresentaram uma grande variação dentro de cada variedade. Já para as variáveis relacionadas a plântulas, foi observado que a cor dos cotilédones, nas variedades 3 e 6, apresentou colorações diferentes, na parte adaxial e abaxial, a cor do hipocótilo, nas variedades 4, 6, 10, 12 e 15, apresentou cores intermediárias e nenhuma delas informada pelos descritores morfológicos.

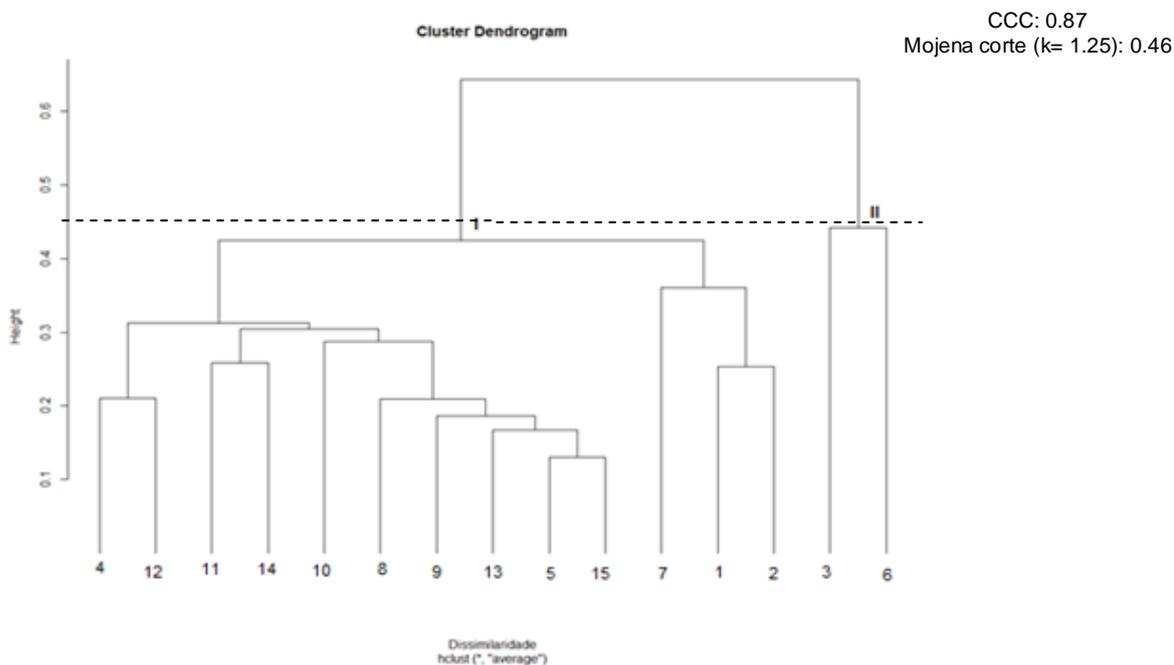
Não foram observadas marcas transparentes, ao longo das nervuras das folhas primárias mais desenvolvidas e a cor das nervuras das folhas primárias mais desenvolvidas, na variedade crioula 6, apresentou cor verde na nervura principal e cor púrpura nas nervuras

laterais (não informados pelos descritores morfológicos), a variedade 3 apresentou cor púrpura e as demais a cor verde. A antocianina nas folhas só esteve presente na variedade 3, estando ausente nas demais.

Foi observada, no presente trabalho quanto à coloração, uma variação maior ao que é apresentado nos descritores para *Phaseolus lunatus* L., evidenciando a diversidade de cores.

Por apresentarem variabilidade genética, que lhes permite adaptar-se aos mais diversos ambientes, as sementes crioulas são partes fundamentais da história de muitas comunidades às quais se atribui um rico patrimônio genético e cultural (SILVA e BRANDÃO JUNIOR, 2018).

O resultado da análise conjunta (quantitativo + qualitativo), obtido pelo algoritmo UPGMA, conforme Fig. 5, foram formados 2 grupos. O grupo I formado por 13 variedades (1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15) e o grupo II formado por duas variedades (3 e 6), os agrupamentos formados foram semelhantes ao encontrado para as variáveis quantitativas do presente trabalho, porém com acréscimo das variáveis qualitativas. O coeficiente de correlação cofenética apresentou um bom ajuste (0.87), demonstrando confiabilidade na relação entre a matriz de dissimilaridade e o dendrograma gerado pelo UPGMA.



**Fig. 5.** Dendrograma obtido pelo método hierárquico UPGMA, para a representação gráfica da matriz, utilizando a distância Euclidiana Média como medida de dissimilaridade obtida, a partir da análise conjunta dos dados qualitativos e quantitativos, em quinze variedades de feijão-fava procedentes do Norte de Minas

Na Tabela 4, observa-se que correlação entre as matrizes de dissimilaridade individuais (quantitativo e qualitativo) foi não significativo e apresentou baixa magnitude 0.26<sup>ns</sup>. A matriz de distância conjunta apresentou valores de correlações satisfatórios e significativos com as matrizes de distância obtidas nas análises individuais, de 0.79\*\* e 0.80\*\* a 1% de significância, para as variáveis quantitativas e qualitativas, respectivamente. Infere-se, portanto que as

variáveis tanto quantitativas quanto qualitativas por apresentarem valores aproximados 0.79\*\* e 0.80\*\* tiveram influência semelhante no agrupamento formado pela análise conjunta.

A análise conjunta dos dados quantitativos e qualitativos pode fornecer melhor compreensão da diversidade genética do banco, ou seja, uma caracterização mais completa dos genótipos e dos padrões da diversidade genética servindo de suporte para trabalhos de melhoramento mais eficientes e facilitando o estudo da diversidade (GONÇALVES *et al.*, 2008; CAMPOS *et al.*, 2010; MOURA *et al.*, 2010).

O presente trabalho evidencia que as estratégias de conservação das sementes crioulas, em bancos de sementes, revelam a diversidade de formas, cores e tamanhos das sementes que são encontrados nesses ambientes.

Tabela 4 – Estimativa da correlação de Pearson entre as matrizes de dissimilaridade, considerando dados quantitativos, qualitativos e análise conjunta, em 15 variedades crioulas de feijão-fava procedentes do Norte de Minas

Matrizes	Quantitativa	Qualitativa	Conjunta
Quantitativa	1.000	0.260 <sup>ns</sup>	0.790**
Qualitativa	-	1.000	0.800**
Conjunta	-	-	1.000

\*\* Significativo a 1% pelo teste de Mantel, com 1.000 permutações

#### 4.2.4 Conclusões

As variedades crioulas de feijão-fava provenientes de bancos de sementes do Norte de Minas Gerais apresentam variabilidade genética identificada por meio de características morfoagronômicas.

Os dois primeiros componentes principais permitem explicar 65.21% da variância contida nas variáveis originais, sendo as variáveis mais representativas nos componentes principais 1, o comprimento da semente e a forma da semente, definida pelo grau de achatamento ( $H=E/L$ ), e o comprimento do cacho a mais representativa nos componentes principais 2.

O dendrograma obtido pelo método UPGMA apresenta alta confiabilidade, para as variáveis quantitativas e na análise conjunta, formando dois grupos dissimilares em cada análise, sendo as variedades 3 e 6 as mais dissimilares, que apresentam sementes de maior comprimento e largura, classificadas por sementes achatadas ( $H=E/L < 0.69$ ), grandes (peso de 100 sementes > 60g) e com plantas mais precoces no florescimento e frutificação.

O dendrograma obtido para as variáveis qualitativas permitiu a formação de três grupos, porém apresenta baixo coeficiente de correlação cofenética.

As variedades crioulas de feijão-fava apresentam grande variabilidade entre e dentro de cada variedade quanto às variáveis qualitativas, sobretudo, quanto às variáveis de coloração,

sendo necessário adequar com adição de descritores morfológicos para *Phaseolus lunatus* L. para atender a variabilidade de cores existentes.

#### 4.2.5 Referências

Barbieri R. I. (2012). **A diversidade de abóboras no Brasil e sua relação histórica com a cultura.** Disponível em: <http://www.slowfoodbrasil.com/textos/alimentacao-e-cultura/501-aboboras-e-cultura>. Acesso em: 18 nov. 2019.

Baudet, J.C. Origine et classification des especes cultivees du genre Phaseolus. **Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique**, 110:65-76, 1977.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**, 2009. 399 p. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária – MAPA/ACS.

BRASIL, Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Instruções para execução de ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de guandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp.). **Diário Oficial da União**, Brasília. Ato n. 3, de 28 de agosto de 2002.

Bussab, W. De O.; Miazaki, E. S.; Andrade, D. F. Introdução à Análise de Agrupamentos. *In*: Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 9., São Paulo. Associação Brasileira de Estatística, 105p.,1990.

Campos, A. L.; Zacarias, A. J.; Costa, D. L.; Neves, L. G.; Barelli, M. A. A., Sobrinho, S. P.; Luz, P. B. Avaliação de acessos de mandioca do banco de germoplasma da UNEMAT Cáceres – Mato Grosso. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.4, n. 2, 2010.

Cargnelutti Filho, A.; Storck, L.; Guadagnin, J.P. Número de repetições para a comparação de cultivares de milho. **Ciência Rural**, v.40, p.1023-1030, 2010.

Carmo, M. D. S.; Gomes, R. L. F.; Lopes, A. C. A.; Penha, J. S.; Gomes, S. O.; Assunção Filho, J. R. Genetic variability in subsamples of determinate growth lima bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v 13: 158-164 2013.

Carvalho, F.J., Maciel, G.M., Oliveira, C.S., Nogueira, A.P.O., Glasenapp, J.A. & Siquieroli, A.C.S., 2017. Comparison of clustering methods to study genetic divergence in pepper accesses at vegetative stage. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, vol. 19, no. 2, pp. 236-243. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/0040>.

Coelho, C. M, M.; Zilio, M.; Souza, A, C,; Guidolin, A, F,; Miquellut, D, J, Características morfo-agronômicas de cultivares crioulas de feijão comum em dois anos de cultivo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n. 1, p.1177-1186, 2010.

Cruz, C, D.; Regazzi, A, J.; Carneiro, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2014. 668p.

Cruz, C, D.; Regazzi, A, J.; Carneiro, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. 514 p. v. 1.

Cruz, C. D.; Ferreira, F. M.; Pessoni, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema. 2011, 620p.

Cruz, C. D.; Regazzi, A.J.; Carneiro, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. 480p.

EMBRAPA. **Conservação on farm da agrobiodiversidade, estudos etnobiológicos e segurança alimentar do povo indígena Krahô**. Brasília, DF, v.11, n.1. 2010.

García Carrascosa, M. Experiências brasileiras com sementes crioulas: relato de uma viagem, **(bio)diversa**, 2004.

Gonçalves, D. L.; Barelli, M. A. A.; Santos, P. R. J.; Oliveira, T. C.; Claudete Rosa Da Silva, C. R.; Neves, L. G.; Poletine, J. P.; Luz, P, B, Variabilidade genética de germoplasma tradicional de feijoeiro comum na região de Cáceres-MT. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.1, p.100-107, jan, 2016.

Goncalves, L. S. A.; Rodrigues, R.; Amaral Junior, A. T.; Karasawa, M.; Sudre, C. P. (2008) Comparison of multivariate statistical algorithms to cluster tomato heirloom accessions. **Genetics and Molecular Research**, 7(4): 1289- 1297.

Hill, T.A., Ashrafi, H., Wo, R.C.S., Yao, J., Stoffel, K., Truco, J.M., Kozik, A., Michelmore, R.W. & Deynze, A.V., 2013. Characterization of *Capsicum annuum* genetic diversity and population structure based on parallel polymorphism discovery with a 30K unigene pepper genechip. **PLoS One**, vol. 8, pp. 1-16. [http:// dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0056200](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0056200).

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. **Estações automáticas**: gráficos. [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf) (accessed 10 October 2019).

IPGRI, Descritores para *Phaseolus lunatus* (Feijão-espadinho). International Plant Genetic Resources Institute. Rome. 44 p., 2001.

Iqbal, Z.; Arshad, M.; Ashraf, M.; Mahmood, T.; Waheed, A. Evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] germplasm for some important morphological traits using multivariate analysis. **Pakistan Journal of Botany**, v.40, n.6, p.2323-2328, 2008.

Maciel, G.M., Oliveira, C.S., Siquieroli, A.C.S., Melo, E.I. & Oliveira, A.H.G., 2016. Genetic. vol. 9, e. 09114 ISSN 2359-6643 10/10 dissimilarity among the physiochemical characteristics of fruit from pepper accessions. **Bioscience Journal**, vol. 32, no. 4, pp. 978-985. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v32n4a2016-33893>.

Martínez-Castillo, J.; Colunga-Garcíaamarín, P.; Zizumbo Villarreal, D. Genetic erosion and in situ conservation of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces in its Mesoamerican diversity center. **Genetic Resources and Crop Evolution**, 55:1065-1077, 2008.

Mojena R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation, **The Computer Journal**, 20: 359-363, 1977.

Moura, M. C. C. L.; Gonçalves, L. S. A., Sudré; C. P., Rodrigues, R.; Amaral Junior., T. A.; Pereira, T. N. S. Algoritmo de Gower na estimativa da divergência genética em germoplasma de pimenta. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2: 155-161, 2010.

Rohlf, F. J. Adaptive hierarchical clustering schemes. **Systematic Zoology**, v.19, n.1, p.58-82, 1970.

Santos, J. O.; Araújo, A. S. F.; Gomes, R. L. F.; Lopes, A. C. A.; Figueiredo, M. V. B. Ontogenia da nodulação em feijão -fava (*Phaseolus lunatus*). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v, 4, n,4, p,426-429, 2009.

Silva, H, T, da ; **Descritores mínimos indicados para caracterizar cultivares/ variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. p.32, 2005.

Silva, N. C. A.; Brandão Junior, D. S. Sementes crioulas: Estratégias para conservação da biodiversidade. In: MARTINS, M.; GUEDES, F. V. N. L.; RUSSO, F. **Agroecologia no**

**Semiárido: Contribuições ao debate a partir do Norte de Minas Gerais.** 1. ed. São Paulo: Outras Expressões, 2018. 267p.

Silva, S. I. A.; Souza, T.; Santos, D.; Souza, R. F. S. Evaluation of yield components in lima bean landraces grown in the Agreste region of Paraíba. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 731-742, 2019.

Silva, V. B.; Gomes, R. L. F.; Lopes, A. C. A.; Dias, C. T. S.; Silva, R. N. O. Genetic diversity and promising crosses indication in lima bean (*Phaseolus lunatus*) accessions. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v.36, n.2, p.683-692, 2015.

Stella, A; Kageyama, P; Nodari, R. O. Políticas públicas para a agrobiodiversidade. In: STELLA, A.; KAGEYAMA, P. (Coord.) **Agrobiodiversidade e diversidade cultural**. Brasília: MMA. p.41-56. 2006.

Streck, E. A.; Aguiar, G. A.; Magalhães Júnior, A. M.; Facchinello, P. H. K.; Oliveira, A. C. Variabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado via análise multivariada. **Revista Ciência Agrônômica**, v.48, n. 1, p. 101-109, 2017.

Vaz Patto, M.C.; Satovic, Z.; Pêgo, S.; Fevereiro, P. Assessing the genetic diversity of Portuguese maize germoplasm using microsatellite markers. **Euphytica**, Wageningen, v.137, n.1, p.63-72, 2004.

Vilhordo, B.W.; Mikusinski, O.M.F.; Burin, M.E. & Gandolfi, V.H. (1996). Morfologia. In: Araújo, R.S.; Rava, C.A.; Stone, L.F. & Zimmermann, M.J.O. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos. p. 71-99.

### 4.3 Artigo 3 – Fenotipagem de alta eficiência na dissimilaridade de variedades crioulas de feijão-fava

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Agriculture, Ecosystems & Environment.

#### Resumo

As sementes de variedades de feijão-fava possuem diversidade de formas, cores e tamanhos. Plataformas de fenotipagem de larga escala são utilizadas na caracterização de genótipos, porém são inviabilizadas pelo alto custo. Além disso, as técnicas tradicionais utilizadas, para a descrição de variedades, são feitas, manualmente, o que torna o trabalho demorado e sujeito a erros experimentais. O objetivo do presente trabalho foi estudar a dissimilaridade de quinze variedades crioulas de feijão-fava, por meio de imagens digitais, utilizando técnicas de visão computacional e inteligência artificial. O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Minas Gerais, campus Montes Claros- MG. Foram avaliadas quatro repetições de vinte e cinco sementes de feijão-fava em que foram mensurados comprimento, largura com o auxílio de paquímetro digital com precisão de 0.01 mm e peso da semente com o auxílio de balança analítica; as sementes foram obtidas de casas de sementes da região Norte de Minas Gerais. As imagens foram obtidas por meio de um estúdio fotográfico confeccionado manualmente e utilizada uma câmera digital marca Canon- PowerShot SX400 IS de 16 megapixels. As análises foram realizadas no software R. Foram realizadas etapas de obtenção de imagens, compactação de imagens, segmentação, obtenção de dados biométricos e obtenção de informações de cor primária e cor secundária. A eficiência do uso da análise de imagens, para a obtenção de dados morfológicos de comprimento e largura das sementes, foi obtida, por meio da análise de regressão polinomial de primeiro grau. A eficiência do uso da análise de imagens, na predição do peso das sementes, foi realizada por redes neurais artificiais com arquitetura perceptron multicamadas. Foram estimadas médias das 25 sementes de cada parcela dos dados de Comprimento, Largura, “Relação de Aspecto”, Perímetro, Área total, área primária, área secundária, Compacidade, Circularidade e Relação de área. Concluiu-se que o uso de análise de imagens, para avaliar comprimento, largura e peso das sementes de feijão- fava foram altamente eficientes comparado às avaliações manuais. O comprimento foi a variável que teve a maior contribuição para a predição do peso das sementes, e a análise dos componentes principais, para avaliar a dissimilaridade, revelou que os dois primeiros componentes principais explicaram 78.82% da variação total dos dados. A metodologia utilizada, no presente trabalho utilizando imagens digitais e o software R, possibilitou análises mais rápidas, de baixo custo, mais precisas e com alta eficiência, podendo auxiliar em programas de melhoramento genético de variedades crioulas de feijão-fava.

Palavras-chave: *Phaseolus lunatus* L. Fenômica. Análise de imagem. Componentes principais. Redes Neurais Artificiais.

#### Abstract

The seeds of fava bean varieties have a diversity of shapes, colors and sizes. Large-scale phenotyping platforms are used to characterize the genotypes, but they are not a viable option due to their high cost. In addition to that, the traditional techniques used to describe the varieties of fava beans are done manually, which is extremely time-consuming and is subject to experimental errors. The objective of this work is to study the differences among fifteen varieties of native fava beans by using computer vision and artificial intelligence to analyze digital images. The experiment was carried out at the Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Minas Gerais, campus Montes Claros- MG. Four parcels of twenty-five

seeds of fava beans were evaluated where the length and width were measured with the aid of a digital caliper with the precision of 0.01 mm and the seed weight with the aid of an analytical scale. The seeds were obtained from seed houses in the Northern region of Minas Gerais. The images were captured in a hand-made studio, using a 16-megapixel Canon-PowerShot SX400 IS digital camera. The analyses were performed using the R software. Imaging, image compression, segmentation, biometric data and primary and secondary color information were all collected. The efficiency of using image analysis to obtain morphological data on length and width of seeds was determined through a first degree polynomial regression analysis. The efficiency of using image analysis to predict seed weight was performed by artificial neural networks with multilayer perceptron architecture. The averages for Length, Width, "Aspect Ratio", Perimeter, Total area, primary area, secondary area, Compactness, Circularity and Area ratio of the 25 seeds of each parcel were estimated. It was concluded that the use of image analysis to evaluate the length, width and weight of the seeds of fava beans was highly efficient compared to manual evaluations, the length was the variable that had the greatest contribution to the prediction of the weight of the seeds. The Principal component analysis to assess dissimilarity revealed that the first two main components explained 78.82% of the total data variation. The methodology used in the present work, using digital images and the R software enabled faster, low-cost, more accurate and highly efficient analyses, which can assist in genetic improvement programs for native varieties of fava beans.

**Keywords:** *Phaseolus lunatus* L. Phenomics. Image analysis. Main components. Artificial neural networks.

#### 4.3.1 Introdução

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) é uma das principais Fabaceae cultivadas na região tropical; seu cultivo é de grande importância social, principalmente na região Nordeste do Brasil, pois é uma das alternativas de renda e alimento rico em proteína, pode ser consumido na forma de grãos verdes ou secos (SANTOS *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2004), e o Norte de Minas Gerais possui grande expressividade no seu cultivo, abrangendo a maior área plantada em todo o estado, em especial, pela agricultura familiar.

As sementes de feijão-fava, oriundas de variedades crioulas, apresentam grande variabilidade no tamanho, cor e forma, variação que parece estar relacionada ao genótipo (NOBRE *et al.*, 2012). Avaliar a diversidade de variedades crioulas de feijão-fava permite conhecer o material disponível de forma a garantir sua melhor utilização na condução e manejo da cultura, na conservação de bancos e casas de sementes e bancos de germoplasma e no melhoramento genético da espécie.

A metodologia comumente usada, para a caracterização física de sementes, é feita manualmente com a utilização de paquímetro, régua graduada e balança digital, o que torna o processo trabalhoso, demorado e sujeito a erros experimentais.

De acordo com Santos e Yassitepe (2014), considerada uma nova ciência, a fenômica, quando comparada às outras ômicas, concentra-se na aquisição de dados fenótipos em larga escala e dimensão, em um curto espaço de tempo, oferecendo, com isso, uma oportunidade única de visualizar, em vários níveis hierárquicos, o fenótipo de um organismo. Visão computacional e análise de imagens são hoje um dos principais componentes em qualquer plataforma moderna de fenotipagem (FIORANI; SCHURR, 2013; FURBANK; TESTER, 2011).

Na maioria de plataformas de fenotipagem de plantas adquiridas “prontas para uso” de algumas companhias, o software, para a captura e processamento das imagens, é protegido por patente, o que restringe a sua utilização e praticamente inviabiliza qualquer alteração por parte do usuário (HARTMANN *et al.*, 2011; KLUKAS *et al.*, 2014). Entre as principais críticas referentes a essas plataformas de fenotipagem estão o alto custo de implantação, que requerem uma infraestrutura apropriada, a dependência do fabricante para ajuste, calibração, validação e manutenção; restrição ao porte máximo das plantas que podem ser avaliadas (SOUSA *et al.*, 2015).

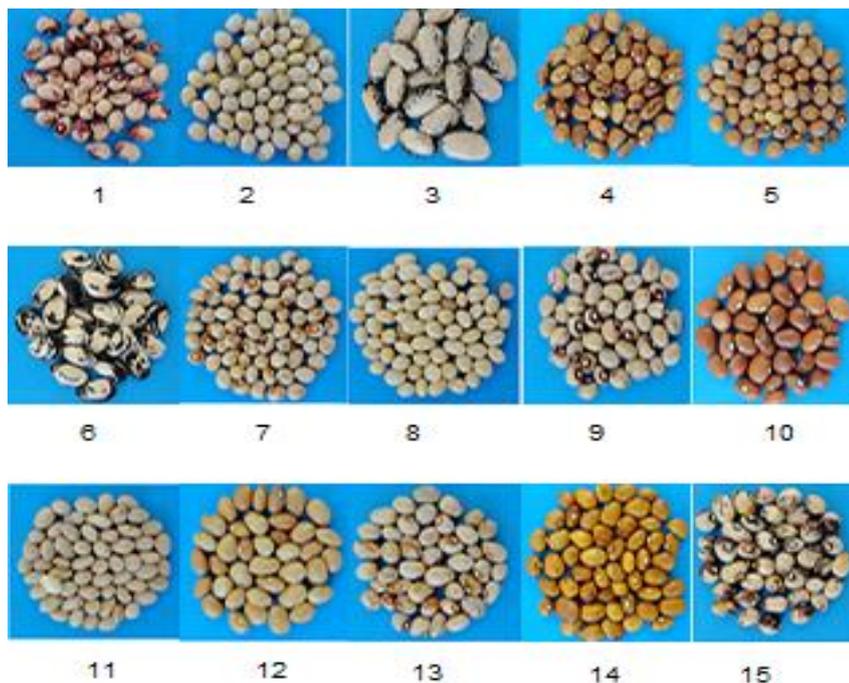
Segundo Vithu e Moses (2016), técnicas de visão computacional combinadas com algoritmos de reconhecimento de padrões e ferramentas de classificação automática têm sido desenvolvidas para suprir essas limitações e serem utilizadas no monitoramento de culturas e análise da qualidade de alimentos.

Encontrar metodologias acessíveis, utilizando softwares livres, para a avaliação de características fenotípicas com uso imagens digitais, que sejam precisas e mais baratas, podem contribuir para trabalhos com melhoramento vegetal e em todo o setor agrícola.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a dissimilaridade de quinze variedades crioulas de feijão-fava, por meio de imagens digitais, utilizando técnicas de visão computacional e inteligência artificial com a utilização do software R.

#### **4.3.2 Material e Métodos**

O experimento foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Minas Gerais, campus Montes Claros – MG, sob as coordenadas 16°51'38”S e 44°55'00”W em junho de 2019. As sementes foram obtidas de casas de sementes das regiões de Montes Claros (comunidade de Pau d’ Óleo), Serranópolis de Minas (comunidade de Touro), Varzelândia (comunidade João Congo) e Grão Mogol (assentamento Americana), conforme Fig. 1.

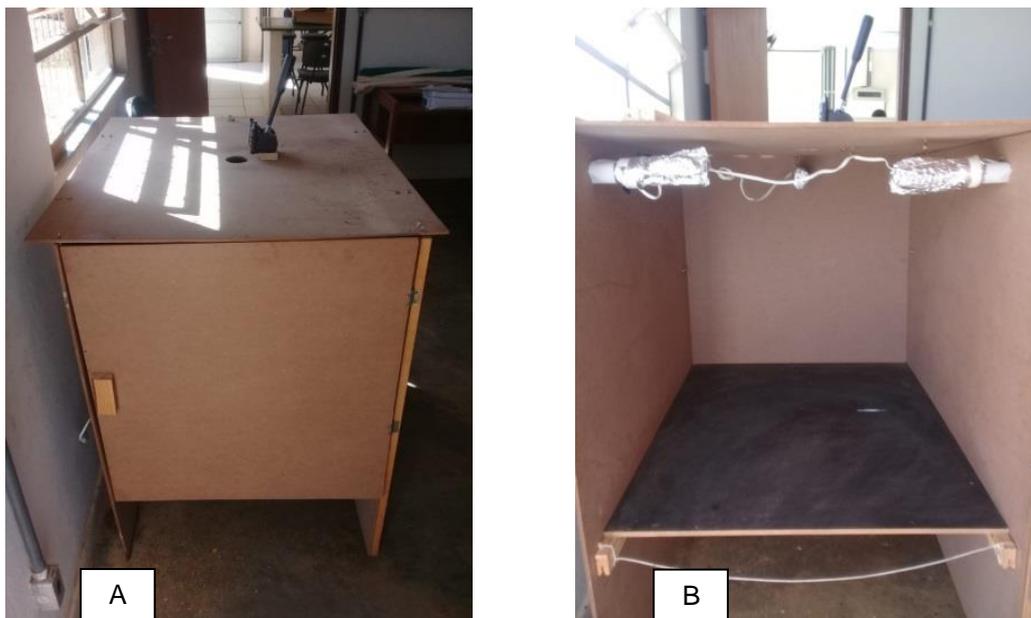


**Fig. 1.** Variedades crioulas de feijão-fava oriundas dos bancos de sementes do Norte de Minas

1- Três meses, Grão Mogol; 2- Não identificada, Montes Claros; 3- Fava Rajada, Grão Mogol; 4- Olho de Lambu, Serranópolis de Minas; 5- Fava Baetona, Grão Mogol; 6- Fava Carioca, Grão Mogol; 7- Anduzinha, Varzelândia; 8- Fava Leite, Serranópolis de Minas; 9- Três meses rajada, Serranópolis de Minas; 10- Mulatinha, Serranópolis de Minas; 11- Mulatinha Branca, Serranópolis de Minas; 12- Mulatinha Parda, Serranópolis de Minas; 13- Olho de pombo, Serranópolis de Minas; 14- Amarelinha, Serranópolis de Minas; Não identificada, Serranópolis de Minas.

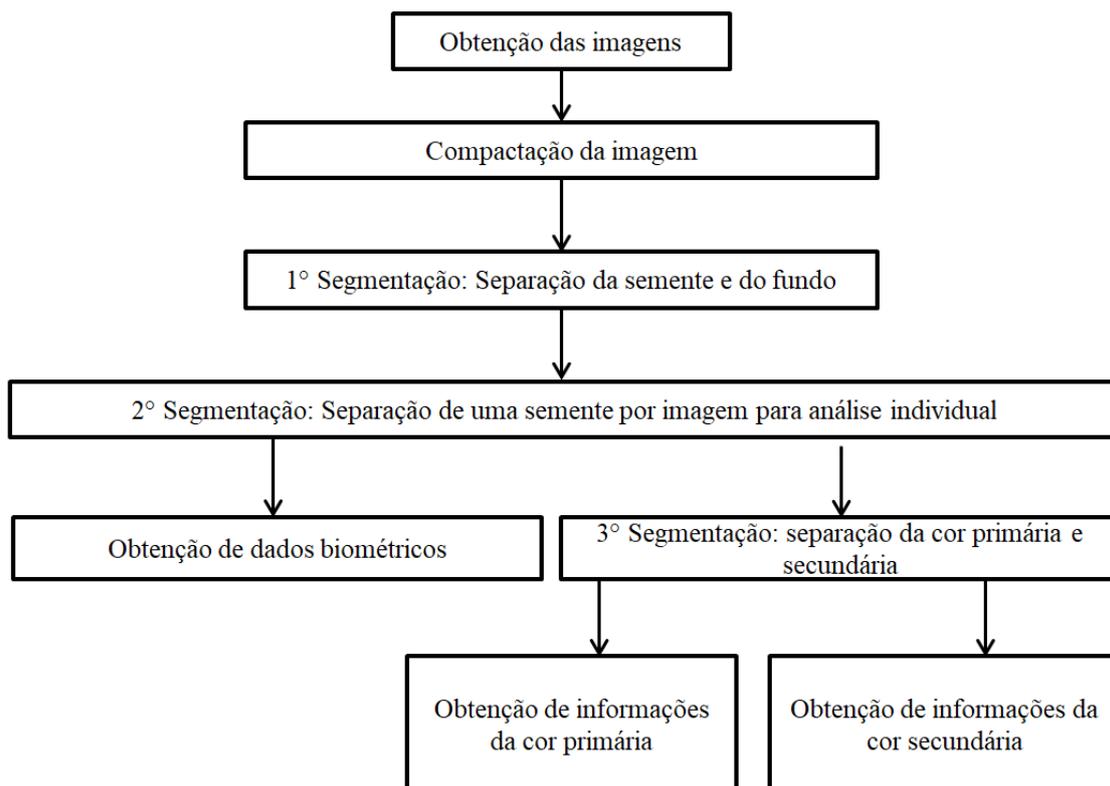
Foram avaliadas duas repetições de vinte e cinco sementes de feijão-fava para cada variedade e mensurados comprimento, largura com o auxílio de paquímetro digital com precisão de 0.01 mm e peso da semente com o auxílio de balança analítica com precisão de 0.0001g.

Após a avaliação manual de comprimento, largura e peso de cada semente, elas foram devidamente identificadas e posteriormente fotografadas. As imagens foram obtidas com uma câmera fotográfica digital da marca Canon- PowerShot SX400 IS, sensor de 16.0 megapixels\* e o processador de imagem Canon DIGIC 4+, em um estúdio fotográfico confeccionado manualmente com material em MDF de dimensões 0.5m X 1.0 m e altura de 0.40 m. A câmera fotográfica foi fixada na parte superior do estúdio (Fig. 2) e, na parte interna, foi colocada uma lâmpada fluorescente em cada extremidade do estúdio e essas lâmpadas foram recobertas com papel alumínio, para permitir a distribuição uniforme da luz em todas as direções.



**Fig. 2.** Estúdio fotográfico (A) Parte externa do estúdio, (B) Região interna do estúdio

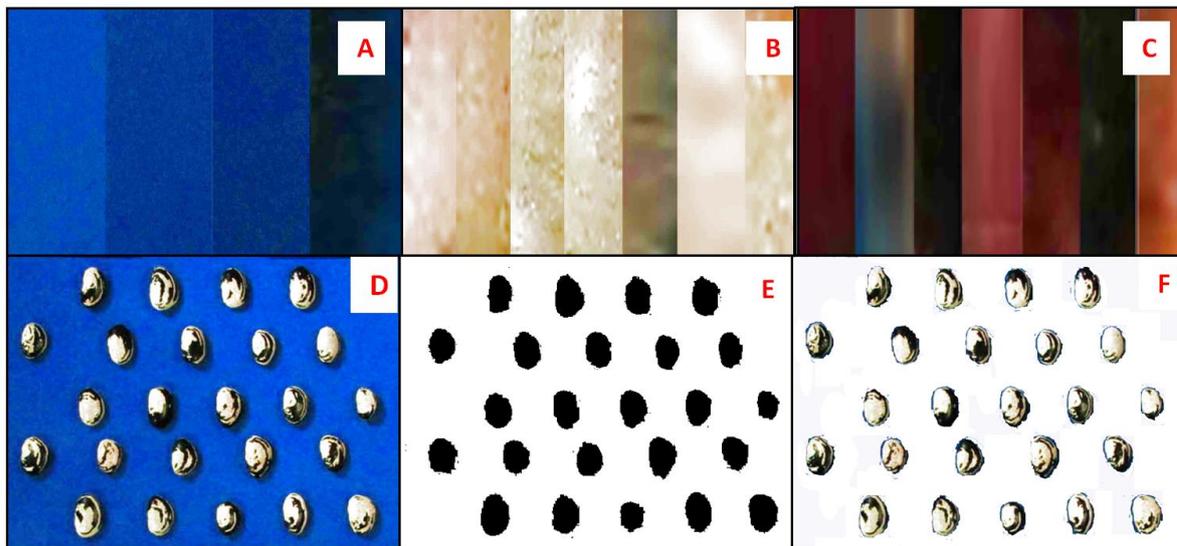
Na parte inferior do estúdio, foi colocada uma folha de EVA de cor azul centralizado. Sobre a folha de EVA, foram colocadas as sementes de feijão-fava com vista lateral no centro de visão da câmera fotográfica. Todas as análises dos dados, sumarizadas na Fig. 3, foram realizadas no software R. Para compactar as imagens, a fim de possibilitar a análise computacional em menor tempo, foram utilizadas as funções *image\_read* e *image\_scale* do pacote *magick*. As imagens foram compactadas para 1500 pixels de largura e 1125 pixels de altura. Após a compactação, foram abertas pela função *readImage* do pacote *EImage*, quando se conseguiu obter para cada imagem três matrizes, cada uma com 1500 colunas e 1125 linhas, contendo em cada uma os valores de vermelho, verde e azul (RGB), com valores variando entre 0 e 1.



**Fig. 3.** Fluxograma das etapas realizadas a partir da obtenção das imagens referentes à segmentação e extração de dados biométricos e colorimétricos

Para a segmentação de cada imagem, a fim de separar as sementes do fundo, foram feitas três escalas de cores com o auxílio do software Photoshop. A primeira com os tons de azuis (Fig. 4A) correspondentes aos fundos de cada imagem, a segunda com todos os tons claros (Fig. 4B) encontrados nas sementes e a terceira com todos os tons escuros (Fig. 4C) encontrados nas sementes. Da primeira escala de cores foram selecionados 8000 pixels, aleatoriamente, já da segunda e terceira escala foram selecionados 4000 pixels aleatoriamente. Para cada pixel foram obtidos os valores de RGB (Vermelho, verde e azul). A fim de encontrar correspondência entre os valores de RGB do pixel e sua classificação como semente ou fundo, utilizou-se o modelo linear generalizado com função de ligação logit. Assim, para a composição da variável dependente ( $y$ ), considerou-se o valor 0 para os pixels, correspondente ao fundo (escala de azul) e 1 para a semente (escala de tons claros e escuros). Como variáveis explicativas, consideraram-se os valores de R, G e B. Desta forma, ajustou-se modelo  $y_i = \frac{\exp^{a+bR_i+cG_i+dB_i}}{1+\exp^{a+bR_i+cG_i+dB_i}} + e_i$ , em que:  $y_i$  é o valor correspondente ao  $i$ -ésimo pixel (0 para fundo e 1 para semente);  $R_i$  é o valor de vermelho correspondente ao  $i$ -ésimo pixel;  $G_i$  é o valor de verde correspondente ao  $i$ -ésimo pixel;  $B_i$  é o valor de azul correspondente ao  $i$ -ésimo pixel;  $e_i$  é o erro experimental associado ao  $i$ -ésimo pixel;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são os coeficientes de regressão associados às variáveis explicativas. Após o ajuste do modelo de regressão logit, a partir dos valores de RGB de cada pixel das fotos das sementes (exemplo:

Fig. 4D), foi feita a predição da probabilidade do pixel corresponder ao fundo ou à semente. Pixels com probabilidades menor ou igual a 50% foram consideradas como pertencentes ao fundo. Já os pixels com probabilidades maiores que 50% foram consideradas como pertencentes às sementes. Desta forma, foi possível obter uma matriz com a mesma dimensão das fotos (1500 colunas e 1125 linhas) com valores 0 e 1, para serem utilizadas como coordenadas das sementes (Fig. 4E). A partir dessas coordenadas, obtiveram-se os valores de vermelho, verde e azul de cada pixel correspondente às sementes (Fig. 4F).



**Fig. 4.** Etapas realizadas a partir da obtenção das imagens para a extração de atributos de sementes de feijão-fava: (A) paleta de tons de azul, (B) paletas com tons claros das sementes, (C) paletas com tons escuros das sementes, (D) imagem obtida das sementes, (E) imagem segmentada separando o fundo e o objeto de imagem, (F) sementes com valores em RGB correspondentes

Foi feita a individualização das sementes para a obtenção de dados biométricos e colorimétricos. Para individualizar uma semente por imagem, obteve-se por programação o algoritmo apresentado no anexo 1. Para obter o perímetro de cada semente, foi feita a contagem dos pixels correspondente ao contorno da semente. O contorno da semente foi obtido após a programação do algoritmo apresentado no anexo 2. Para obter o comprimento e largura das sementes, foi feita a rotação computacional das sementes, a fim de ter-se o comprimento das sementes na horizontal com o auxílio da técnica de componentes principais. Para isso, obteve-se o algoritmo apresentado no Anexo 3. A área da semente foi obtida pela contagem de pixels correspondentes às sementes. Todas estas medidas foram obtidas em pixels, a partir das quais foram estimadas a Compacidade =  $\frac{4\pi(\text{área})}{(\text{perímetro})^2}$ , Circularidade  $C = \frac{(\text{perímetro})^2}{\text{área}}$ ,

$$\text{Relação de área} = \frac{\text{área}}{(\text{eixo principal})(\text{eixo menor})}, \text{Relação de aspecto} = \frac{\text{eixo maior}(C)}{\text{eixo menor}(L)}.$$

Para verificar a eficiência do uso da análise de imagens, para a obtenção de dados morfológicos, o comprimento, largura e peso das sementes obtidas por essa técnica, foram comparados com as obtidas manualmente por meio da análise de regressão polinomial de primeiro grau. Além disso, foi estudada a eficiência do uso da análise de imagens na predição do peso das sementes por redes neurais artificiais. Para isso, dados do comprimento, largura, perímetro e área obtidos pela análise de imagens de 75 sementes selecionadas aleatoriamente de cada uma das 15 variedades de feijão-fava foram utilizadas como variáveis de entrada em redes do tipo perceptron de multicamadas. Já o peso dessas sementes foi utilizado como variável de saída. Apenas os valores da variável de saída foram normalizados entre 0 e 1 com o auxílio da função *normalizeData*. Considerou-se de forma arbitrária uma camada intermediária com cinco neurônios. O treinamento da rede foi feito com a função *mlp* do pacote *RSNNS*, considerando-se 1000 interações, função de ativação sigmoideal para a camada intermediária e linear para a camada de saída. Para verificar a eficiência do ajuste e ausência de overfitting, foram obtidos os pesos preditos das 25 sementes restantes de cada uma das 15 variedades de feijão-fava. Os valores preditos foram confrontados com os reais por meio de regressão polinomial do primeiro grau. Para verificar as características de maior relevância, no processo de predição, foi utilizado o método de Garson com o auxílio da função *garson* do pacote *NeuralNetTools*.

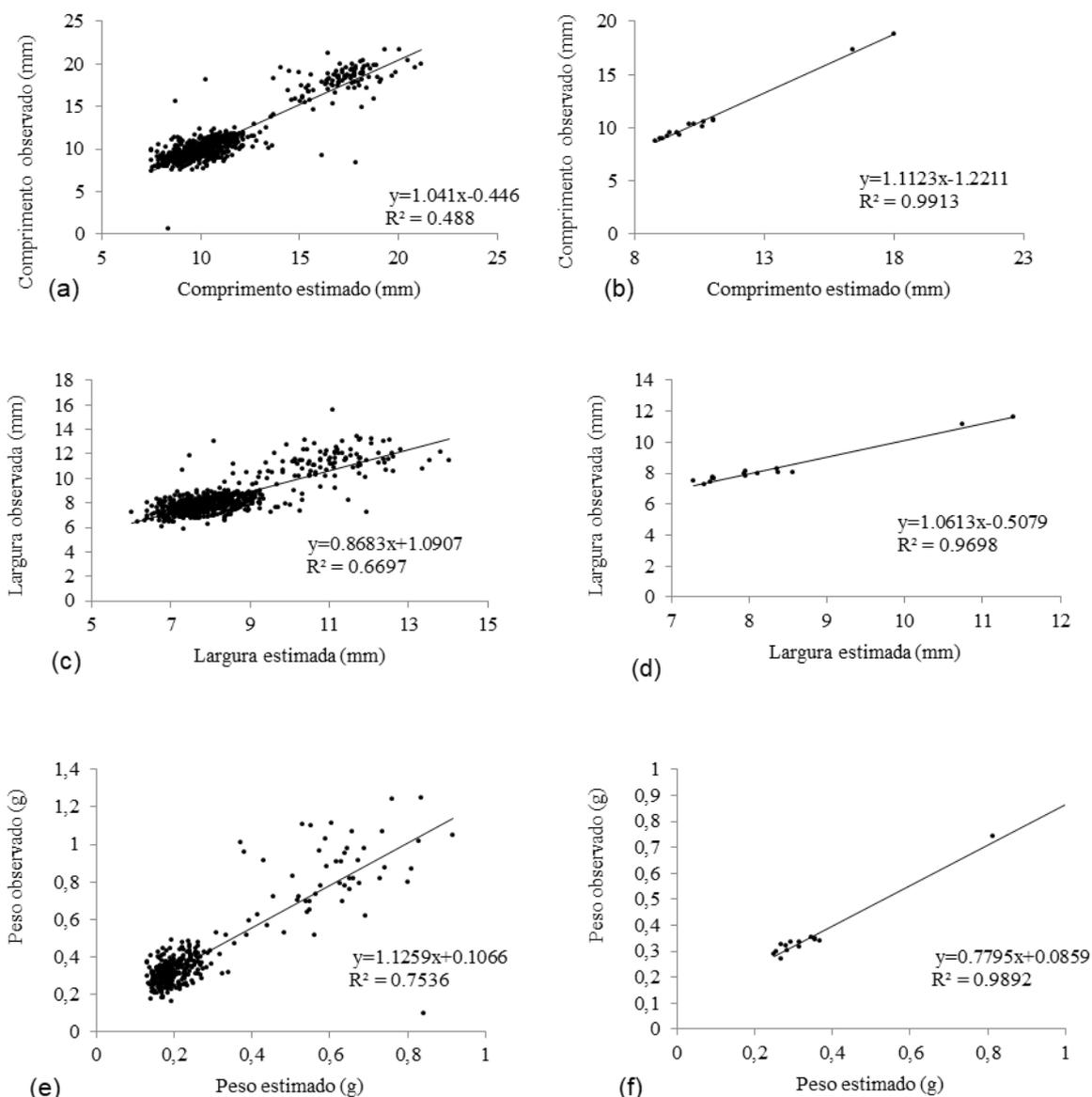
Para a análise colorimétrica, foi feita uma terceira segmentação, a fim de separar os pixels correspondentes à semente os quais se enquadram como claro (Fig. 4B) ou escuro (Fig. 4C). Para isso foram selecionados 4000 pixels aleatoriamente da escala de tons claros (Fig. 3B) e 4000 pixels correspondentes aos tons de escuro (Fig. 4C). Para cada pixel foram obtidos os valores de RGB (Vermelho, verde e azul). A fim de encontrar correspondência entre os valores de RGB do pixel e sua classificação como claro ou escuro, utilizou-se o modelo linear generalizado com função de ligação logit. Assim, para a composição da variável dependente ( $y$ ), considerou-se o valor 0 para os pixels correspondentes à cor clara e 1 para a cor escura. Como variáveis explicativas, consideraram-se os valores de R, G e B. Desta forma, ajustou-se o modelo  $y_i = \frac{\exp^{a+bR_i+cG_i+dB_i}}{1+\exp^{a+bR_i+cG_i+dB_i}} + e_i$ , em que:  $y_i$  é o valor correspondente ao  $i$ -ésimo pixel (0 para cor clara e 1 para cor escura);  $R_i$  é o valor de vermelho correspondente ao  $i$ -ésimo pixel;  $G_i$  é o valor de verde correspondente ao  $i$ -ésimo pixel;  $B_i$  é o valor de azul correspondente ao  $i$ -ésimo pixel;  $e_i$  é o erro experimental associado ao  $i$ -ésimo pixel;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são os coeficientes de regressão associados às variáveis explicativas. Após o ajuste do modelo de regressão logit, a partir dos valores de RGB de cada pixel das fotos das sementes, foi feita a predição da probabilidade do pixel corresponder à cor clara ou escura. Pixels com probabilidades menores ou iguais a 50% foram considerados como sendo cor clara. Já os pixels com probabilidades maiores que 50% foram considerados escuros. Para cada semente foi obtida a soma dos pixels alocados como de tom claro e como tom escuro. O tom presente em maior frequência foi considerado como cor primária, já os pixels pertencentes ao outro tom, quando existente, foi considerado como cor secundária. Desta forma, para cada semente foi obtida a média dos valores de R, G e B dos pixels correspondentes à cor primária e à cor secundária.

Foram estimadas médias das 25 sementes de cada parcela dos dados de comprimento, largura, perímetro, relação de aspecto, área total, área secundária, compacidade, circularidade e relação de área. Esses dados foram submetidos à análise de variância e ao teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância com o auxílio do pacote *ExpDes.pt*.

Para a melhor discriminação dos tratamentos, recorreu-se à análise multivariada. Assim, foi estimado, para cada variedade, as médias de perímetro, área, comprimento, largura, área secundária, tom de vermelho na parte primária, tom de verde na parte primária, tom de azul na parte primária, tom de vermelho na parte secundária, tom de verde na parte secundária, tom de azul na parte secundária, compacidade, circularidade, relação de área, e relação de aspecto. Essas médias foram padronizadas e submetidas à técnica de componentes principais com o auxílio da função *princomp*. Para verificar a importância de cada característica, neste estudo, foram estimadas as correlações entre as médias obtidas e os escores dos componentes principais por meio da função *cor*.

#### 4.3.3 Resultados e Discussão

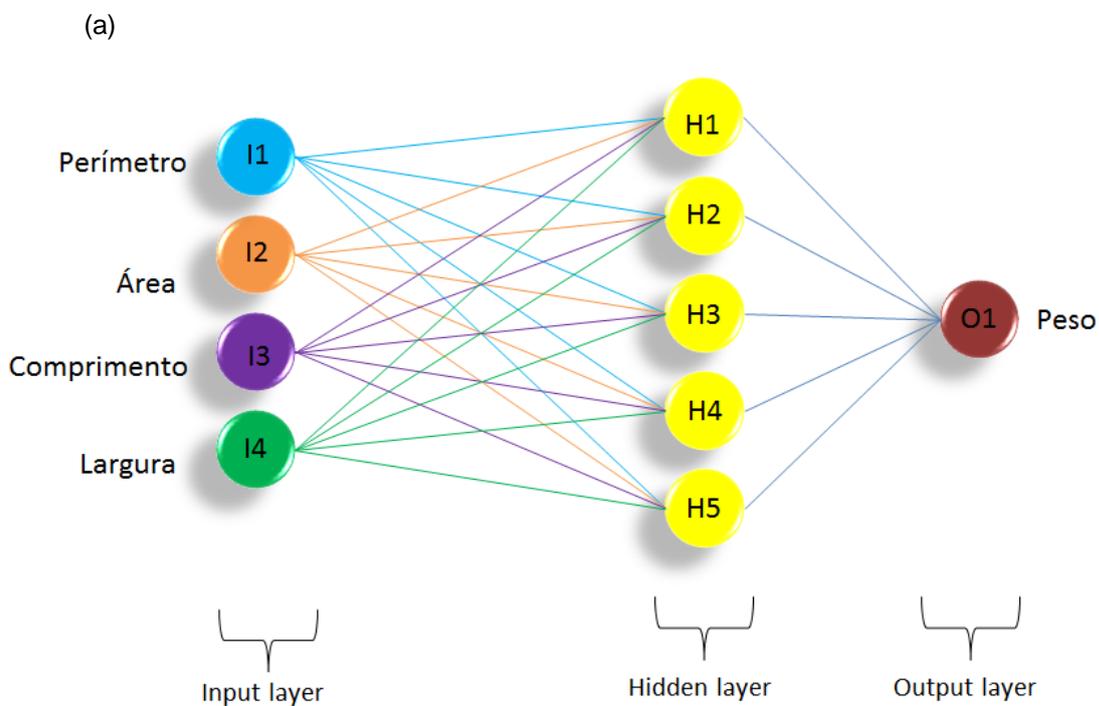
O uso da análise de imagens pela regressão polinomial de 1º grau (Fig. 5) apresentou elevado coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo de 0.9913 para comprimento, 0.9698 para largura e 0.9882 para peso das sementes, mostrando ser muito eficiente a análise de imagens digitais quando comparada à análise manual. Isso indica que os dados obtidos, por meio do uso de imagens digitais, são confiáveis para a caracterização de sementes de feijão-fava, validando a metodologia utilizada no presente trabalho. Em estudos realizados por Brunet *et al.* (2019), verificou-se que o do comprimento da parte aérea e da área foliar das mudas, obtido pelo processamento digital de imagens, foi eficaz para avaliar o vigor das sementes de arroz e Cargnelutti Filho *et al.* (2015) identificaram, em híbridos de canola, a estimação da área foliar determinada por fotos digitais, em função da largura do limbo foliar, que corroboram com o presente estudo. Em trabalhos realizados por Xuehai Zhang *et al.* (2017), na avaliação do desempenho de plantas de milho por medições manuais e automáticas para altura das plantas, peso fresco e peso seco, os coeficientes de determinação foram maiores que 0,97, mostrando que as medições automáticas foram tão eficientes quanto as manuais.



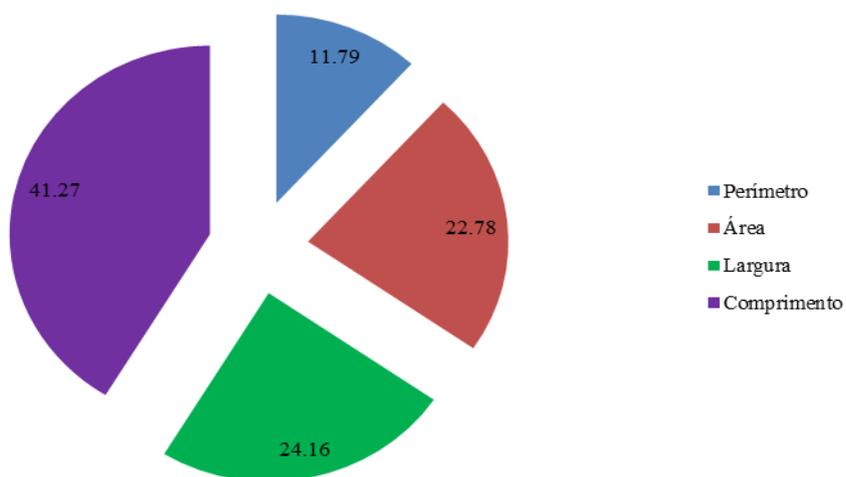
**Fig. 5.** Dispersão gráfica dos valores observados (manual) e estimados pela análise de imagens para o comprimento (a e b), largura (c e d) e peso (e e f) de sementes de feijão-fava. (a, c, e) valores individuais em nível de semente e (b, d, f) valores médios em nível de genótipos

A arquitetura de rede (Fig. 6a), utilizando cinco neurônios na camada oculta e as variáveis perímetro, área, largura e comprimento na camada de entrada, foram eficientes para a predição do peso das sementes, e essa eficiência pode ser observada na Fig. 4f que apresentou um alto coeficiente de determinação de 0.9892, ou seja, 98.92% do peso analisado manualmente foi explicado pelo peso estimado pelas imagens. A contribuição relativa das variáveis pelo método de Garson (1991), para a predição do peso, foram comprimento 41.27%, largura 24.16%, área 22.78% e perímetro com 11.79% (Fig. 6b). Guimarães et al. (2018) encontraram alta precisão, utilizando RNAs com cinco neurônios na camada intermediária,

para a predição da produção da palma forrageira com coeficiente de determinação de 0.78. Estudos realizados por Azevedo et al. (2017), utilizando RNAs, para estimar área foliar em couve obteve um coeficiente de determinação de 0.9693.



(b)



**Fig. 6.** Arquitetura das redes neurais artificiais utilizadas na predição do peso de sementes (a) e importância relativa (%) das variáveis de entrada estimados pelo método de Garson (b)

A caracterização biométrica das sementes de feijão-fava realizada por análise de imagens apresentou diferença significativa pelo teste de F e o agrupamento das médias

realizado pelo teste de Scott- Knott ( $P < 0.05$ ) conforme a Tabela 1. As quinze variedades crioulas de feijão apresentaram grande variação quanto ao comprimento, largura, perímetro e área (25.7387mm a 52.6541, 22.9827mm a 35.9547mm, 349.8mm a 140.38mm, 349.8mm<sup>2</sup> a 1215.82 mm<sup>2</sup>), respectivamente, sendo as variedades crioulas 3 com as maiores médias e a 9 com menores médias, respectivamente.

**Tabela 1** – Caracterização biométrica de sementes de variedades crioulas feijão-fava procedentes do Norte de Minas por análise de imagens

Variedades	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Perímetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Área Secundária (%)	Compacidade	Circularidade	Relação de aspecto	Relação de área
1	30.054 e	25.095 d	8258 d	464.220 d	0.378 a	0.854 b	14.787 d	1.198 c	0.613 c
2	26.518 g	23.738 e	74.34 f	381.880 f	0.078 g	0.868 a	14.559 d	1.118 e	0.605 c
3	52.654 a	35.954 a	140.38 a	1215.82 a	0.158 e	0.781 d	16.285 a	1.474 a	0.644 a
4	32.243 c	26.336 c	88.64 c	521.900 c	0.084 g	0.828 b	15.229 c	1.225 c	0.610 c
5	28.496 f	25.083 d	79.96 e	428.320 e	0.113 f	0.843 b	15.012 c	1.137 d	0.599 d
6	47.927 b	33.880 b	128.4 b	1024.20 b	0.298 b	0.780 d	16.319 a	1.420 b	0.627 b
7	26.191 g	23.814 e	73.38 f	378.520 f	0.198 d	0.882 a	14.291 d	1.101 e	0.606 c
8	27.059 g	23.417 e	74.68 f	390.100 f	0.033 h	0.879 a	14.407 d	1.157 d	0.614 c
9	25.738 g	22.982 e	72.18 f	349.800 g	0.212 d	0.845 b	14.985 c	1.121 e	0.591 d
10	31.106 d	25.584 d	86.52 c	484.780 d	0.006 h	0.814 c	15.517 b	1.216 c	0.608 c
11	29.507 e	23.649 e	79.38 e	436.860 e	0.096 f	0.868 a	14.502 d	1.251 c	0.624 b
12	32.315 c	26.408 c	89.26 c	528.880 c	0.068 g	0.837 b	15.175 c	1.226 c	0.619 b
13	28.125 f	25.008 d	79.6 e	435.500 e	0.152 e	0.859 a	14.677 d	1.125 e	0.615 c
14	31.077 d	27.004 c	87.96 c	517.160 c	0.129 f	0.839 b	15.054 c	1.153 d	0.615 c
15	27.410 f	23.730 e	77.78 e	389.440 f	0.244 c	0.805 c	15.690 b	1.156 d	0.596 d
CV(%)	8.120	7.970	8.320	15.300	58.100	7.850	9.010	7.080	5.970

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $P < 0.05$ ); CV: coeficiente de variação residual.

Estudos realizados por Kara *et al.* (2013), utilizando o método de processamento de imagens com câmera fotográfica digital, determinaram tamanho e forma de 11 cultivares de feijão comum registrados e um genótipo cultivado na Turquia.

De acordo com Tanabata *et al.* (2012), as informações da avaliação quantitativa da forma e tamanho das sementes, quando obtidas por metodologia confiáveis e de alta produtividade, podem beneficiar diversos campos de pesquisa de plantas, como programas de melhoramento genético, atuando paralelamente em estudos de análise funcional e melhoramento de culturas assistidas por genômica.

Uma das vantagens que se tem com a utilização das redes neurais, para a caracterização de variáveis quanto ao tamanho e forma, é que permite a mensuração de variáveis que são de difícil obtenção quando são mensuradas manualmente.

A coloração do tegumento, em sementes de feijão-fava, é uma importante variável na caracterização das variedades, há uma grande diversidade de cores na espécie *P. lunatus* L. e nem sempre é possível uma boa precisão na avaliação visual, pois é uma característica muito subjetiva, sujeita a erros e depende da habilidade do analista. No entanto a caracterização colorimétrica por análise de imagens (Tabela 2) permitiu uma classificação mais precisa quanto à coloração do tegumento das sementes de feijão-fava, tanto para a cor primária quanto para a cor secundária.

**Tabela 2** – Caracterização colorimétrica do tegumento das sementes de variedades crioulas de feijão-fava por análise de imagens

Variedades	Cor primária do tegumento			Cor secundária do tegumento		
	Vermelho	Verde	Azul	Vermelho	Verde	Azul
1	0.910	0.840	0.780	0.630	0.390	0.380
2	0.530	0.470	0.480	-	-	-
3	0.880	0.860	0.800	0.310	0.250	0.210
4	0.600	0.250	0.190	0.850	0.660	0.530
5	0.690	0.310	0.240	-	-	-
6	0.830	0.820	0.750	0.210	0.180	0.140
7	0.890	0.810	0.720	0.620	0.440	0.420
8	0.540	0.480	0.510	-	-	-
9	0.860	0.780	0.680	0.520	0.380	0.370
10	0.460	0.150	0.130	-	-	-
11	0.880	0.800	0.700	0.560	0.470	0.460
12	0.640	0.240	0.160	-	-	-
13	0.880	0.790	0.670	0.570	0.420	0.400
14	0.730	0.270	0.140	-	-	-
15	0.820	0.770	0.650	0.410	0.300	0.260

As variedades crioulas 4, 5, 12 e 14 apresentaram tegumento de cor primária escura, as demais variedades apresentaram cor primária clara. As variedades 5, 10, 12 e 14, de tegumento escuro, apresentaram relação RGB (vermelho, verde e azul) maior, apresentando cor vermelha e as variedades 1, 7, 9, 13 e 15 de tegumento claro na cor primária apresentaram também maior valor de vermelho na relação RGB.

As variedades crioulas 2, 5, 8, 10, 12 e 14 não apresentaram cor secundária no tegumento. Já as variedades crioulas 1, 3, 4, 6, 7, 9, 11, 13 e 15 apresentaram cor escura, com maior relação RGB na cor vermelha, sendo as variedades 3 e 6 de coloração mais escura quando comparada às demais variedades.

O sistema de visão por computador ou de análise de imagem computadorizada é considerado um método muito conveniente, para estudos relacionados a sementes, pois é livre de erros humanos, mais rápida a avaliação e fornece uma análise cuidadosa e detalhada de dados das sementes. Outra vantagem é que os dados e outras informações ficam armazenados e podem ser utilizados em futuros trabalhos.

Pela análise multivariada dos componentes principais (PCA), os dois primeiros componentes (CP1 e CP2) explicaram 78,82% da variabilidade total dos dados (Tabela 3), contribuiu o CP1 com 56.54% e CP2 com 22.26%. As variáveis que mais contribuíram para explicar a diferença entre as variedades crioulas de feijão-fava nos componentes principais 1 foram perímetro, área, comprimento, largura, vermelho (cor secundária) e verde (cor secundária), compacidade, circularidade e relação de aspecto. Nos componentes principais 2, as variáveis verde (cor primária), azul (cor primária) e azul (cor secundária) foram as que mais contribuíram para explicar a dissimilaridade entre as variedades.

**Tabela 3** – Estimativa de correlação entre as características quantitativas avaliadas e os dois componentes principais de variedades crioulas de feijão-fava

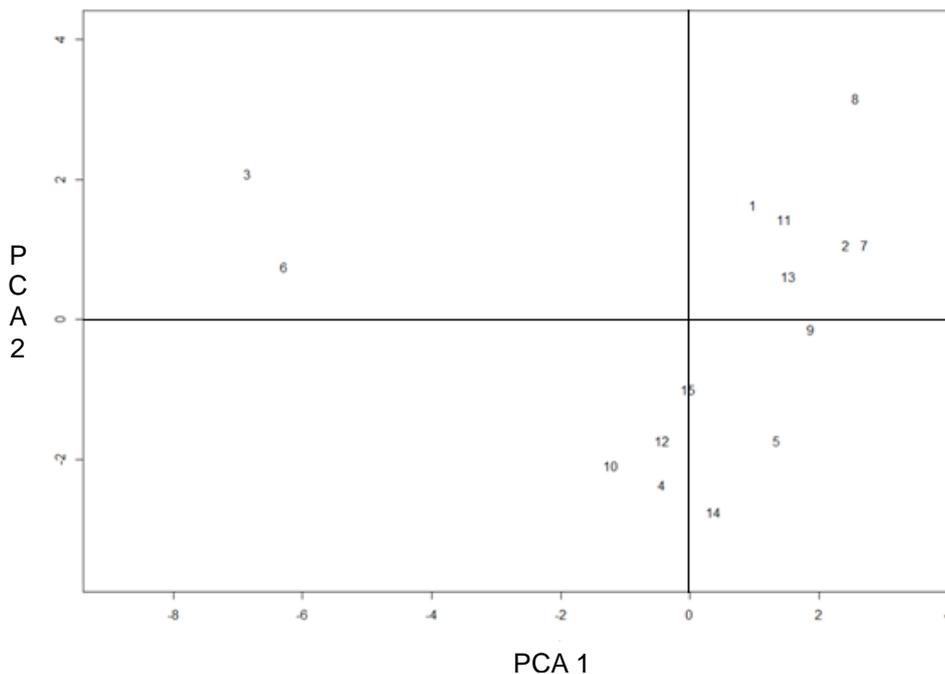
Variáveis	CP1 (56.54%)	CP2 (22.26%)
Perímetro	-0.971	0.131
Área	-0.955	0.193
Comprimento	-0.966	0.164
Largura	-0.955	0.094
Área Secundária	-0.213	0.249
Vermelho (cor primária)	0.361	0.266
Verde (cor primária)	-0.035	0.971
Azul (cor primária)	-0.119	0.910
Vermelho (cor secundária)	0.752	-0.353
Verde (cor secundária)	0.732	0.624
Azul (cor secundária)	0.652	0.729
Compacidade	0.912	0.267
Circularidade	-0.930	-0.210
Relação de área	-0.690	0.363
Relação de aspecto	-0.939	0.211

CP: componente principal; CP: componente principal 2

A dispersão gráfica, apresentada em espaço bidimensional, com base nos dois componentes principais (Fig. 7), mostra um distanciamento entre os grupos, cujas variedades 3 e 6 apresentaram alta dissimilaridade em relação às demais variedades crioulas de feijão-fava. É observado, na análise dos componentes principais 1, que as variáveis estão mais relacionadas com o tamanho da semente, já nos componentes principais 2 a correlação é maior com a variável cor.

As variedades crioulas 3 e 6 apresentaram tamanhos maiores (comprimento, largura, perímetro, relação de área e relação de aspecto e forma mais irregular ( $\frac{P^2}{A}$ ). As variedades 2 e 7, as de menores tamanhos, apresentaram uma forma mais circular quanto à compacidade

pela fórmula  $\frac{4\pi \cdot A}{P^2}$ . As demais variedades com exceção a 3 e 6, também, apresentaram uma forma mais circular. As variedades de feijão-fava 4, 10, 12 e 14 apresentaram tegumento mais escuro na cor primária. As variedades 5, 15 e 9 possuem a cor secundária do tegumento mais avermelhada e a variedade apresentou cor mais clara no tegumento. A análise por componentes principais corrobora com os resultados encontrados tanto na Fig. 1, nas características das variedades crioulas de feijão-fava aqui avaliadas, apontando eficácia da metodologia utilizada no presente trabalho.



**Fig. 7.** Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais obtidos, a partir de características quantitativas e colorimétricas, extraídas pela análise computacional de imagens de sementes de variedades crioulas de feijão-fava

Estudos realizados por Sabanci *et al.*(2017), para classificar grãos de trigo das espécies *Triticum aestivum* ( comum) e *T. durum*, utilizando os padrões dimensão, cor e textura, imagens obtidas por câmeras, redes neurais do tipo perceptron multicamadas e software MATLAB® foi de alta acuraria, mostrando que o classificador proposto, baseado em visão computacional, pode ser utilizado para classificar automaticamente grãos de trigo.

#### 4.3.4 Conclusão

O uso de análise de imagens para avaliar comprimento, largura e peso das sementes de feijão- fava foram altamente eficientes comparado às avaliações manuais apresentando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores as 96.98%.

As variáveis comprimento, largura, área e perímetro, para a predição do peso das sementes de feijão- fava, utilizando redes neurais artificiais em rede tipo perceptron multicamadas, apresentaram eficiência de 98.92%, sendo o comprimento a variável que teve a maior contribuição, de 41.47%.

A análise dos componentes principais revelou que os dois primeiros componentes principais explicaram 78.82% da variação total dos dados. A dissimilaridade avaliada pela análise de componentes principais mostrou que as variáveis perímetro, área, comprimento, largura, vermelho (cor secundária) e verde (cor secundária), compacidade, circularidade e relação de aspecto nos componentes principais 1, as cores verde (cor primária), azul (cor primária) e azul (cor secundária), nos componentes principais 2, foram as variáveis que mais contribuíram para explicar a dissimilaridade entre as variedades de feijão-fava.

A metodologia utilizada no presente trabalho, utilizando imagens digitais e o software R, possibilitou análises mais rápidas, de baixo custo, mais precisas e com alta eficiência, podendo auxiliar em programas de melhoramento genético de variedades crioulas de feijão-fava.

#### 4.3.5 Referências

- Azevedo, A. M.; Andrade Júnior, V.C.; Sousa Júnior, A.S.; Santos, A. A.; Cruz, C.D.; Pereira, S. L.; Oliveira, A. J. M. Eficiência da estimação da área foliar de couve por meio de redes neurais artificiais. **Horticultura Brasileira**, 35(1), 14-19. <https://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620170103>
- Brunes, A. P; Araujo, A. S.; Dias, L. W.; Antonioli, J.; Gadotti, G. I.; Villela, F. A. Determinação do vigor de sementes de arroz através do processamento de imagens de plântulas. **Ciência Rural** v.49, n. 8, 2019.
- Cargnelutti Filho, A.; Toebe, M.; Alves, B. M.; Burin, C.; Kleinpaul, J. A. Estimação da área foliar de canola por dimensões foliares. **Bragantia** v.74, n.2, 2015.
- Cruz, C.D.; Carneiro, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 585p.
- Furbank, R. T.; Tester, M. Phenomics - technologies to relieve the phenotyping bottleneck. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 16, n. 12, p. 635-644, Dec. 2011.
- Fiorani, F.; Schurr, U. Future scenarios for plant phenotyping. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 64, p. 267-91, Feb. 2013. DOI.10.1146/annurev-arplant-050312-120137.
- Garson, D. G. Interpreting neural network connection weights. **Journal AI Expert**, v. 6, n. 7, 1991.
- Guimarães, B. V. C.; Donato, S. L. R.; Azevedo, A.M; Aspiazú, I.; Ancilon A.; Silva Junior, A.A. Prediction of 'Gigante' cactus pear yield by morphological characters and artificial neural networks. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, 2018.
- Hartmann A.; Czauderna, T.; Hoffmann, R.; Stein, N.; Schreiber, F. Htpheno: An image analysis pipeline for high-throughput plant phenotyping. **BMC Bioinformatics**, v. 12, n. 1, p. 148, 2011.
- Kara, M.; Sayinci, B.; Elkoca, E.; Öztürk, İ.; Özmen, T. B. Seed size and shape analysis of registered common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Turkey using digital photography. **Tarım Bilimleri Dergisi**, v.19, p. 219-234, 2013.
- Klukas, C.; Chen, D.; Pape, J.M. Integrated Analysis Platform: An Open-Source Information System for High-Throughput Plant Phenotyping. **Plant Physiology**, v.165, n. 2, p. 506-518, 2014.
- Nobre, D. A.C.; Brandão Junior, D.S.; Nobre, E.C.; Santos, J. M. C.; Miranda, D. G. S.; Alves, L. P. Qualidade física, fisiológica e morfologia externa de sementes de dez variedades de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) **Revista Brasileira de Biociências**, v. 10, n. 4, 2012.
- Oliveira, A. P.; Alves, E. U.; Alves, A. U.; Dornelas, C. S. M.; Silva, J. A.; Pôrto, M. L.; Alves, A. V. Produção de feijão-fava em função do uso de doses de fósforo em um Neossolo Regolítico. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 543-546, 2004.
- Sabancı, K.;Kayabasi, A.; Toktas, A. Computer vision-based method for classification of the wheat grains using artificial neural network. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, John Wiley & Sons, Ltd, v. 97, n. 8, p. 2588- 2593. ISSN 1097- 0010.
- Santos, D.; Corlett, F. M. F.; Mendes, J. E. M. F.; Wanderley Júnior, J. S. A. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1407-1412, 2002.

- Santos, T. T.; Yassitepe, J. E. C. T., —Fenotipagem de plantas em larga escala: um novo campo de aplicação para a visão computacional na agricultura. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. S. **Tecnologias da Informação e Comunicação e suas relações com a agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 85–100.
- Sousa, C. A. F.; Dias, B. B. A.; Martins, P. K.; Molinari, H. B. C.; Kobayashi, A. K.; Júnior, M. T. S. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas (New approach for plant phenotyping: concepts, current tools and perspectives). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 660-672, 2015.
- Tanabata, T.; Shibaya, T.; K Hori, K.; Ebana, K.; Yano, M. SmartGrain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. **Plant physiology**, v. 160, n. 4, p. 1871-1880, 2012.
- Vithu, P.; Moses, J.A. Machine vision system for food grain quality evaluation: A review. Trends in Food **Science & Technology**. v. 56, p. 13-20, out. 2016
- Zhang, X.; Huang, C.; Wu, D.; Qiao, F.; Li, W.; Duan, L.; Wang, K.; Xiao, Y.; Chen, G.; Liu, Q.; Xiong, L.; Yang, W.; Yan, J.; *et al.* High-throughput phenotyping and QTL mapping reveals the genetic architecture of maize plant growth. **Plant physiology**, v. 173, n. 3, p. 1554-1564, 2017.

## 5 CONCLUSÕES/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização de quinze variedades crioulas de feijão-fava foi possível por meio das análises morfoagronômicas utilizando descritores morfológicos, qualidade de sementes e fenotipagem de alta eficiência por imagens digitais.

A variabilidade genética da espécie de tamanhos deve ser respeitada de modo a não comprometer os resultados nos testes de qualidade de sementes.

Houve variabilidade genética nas quinze variedades crioulas de feijão-fava e pode ser identificada pela análise de variância, análise de componentes principais e distância Euclidiana média. Os dendrogramas obtidos nas análises representaram a dissimilaridade entre as variedades crioula de feijão-fava.

A fenotipagem de alta eficiência por meio de análise digitais contribuirão em futuros trabalhos de análise de sementes pois é possível obter resultados de maneira mais rápida, fácil e com menor subjetividade.

**ANEXO A – ALGORITMO PARA A INDIVIDUALIZAÇÃO DAS SEMENTES, SENDO T2 A MATRIZ COM AS COORDENADAS DAS SEMENTES (VALORES 0 PARA FUNDO E 1 PARA SEMENTE)**

```

Separar=function(t2){
perc=0.02
#Cima baixo
t2=rbind(1,t2,1)
#Lado
t2=cbind(1,t2,1)
n=round(perc*min(c(ncol(t2),nrow(t2))),0)
t3=t2*0

m=cbind(expand.grid(1:nrow(t2),1:ncol(t2)),
c(t2))
m=as.matrix(m[m[,3]<1,])
a=i=j=0
while(nrow(m)>0) {
  a=a+1
  i=m[1,1]
  j=m[1,2]
  mm=m[1,]
  m2=matrix(mm,ncol=3)
  t4=NULL
  while(is.matrix(m2)==1){
    mm=NULL
    for(ii in 1:nrow(m2)){
      i=as.numeric(m2[ii,1])
      j=as.numeric(m2[ii,2])
      aa=F
      #cima
      if(t2[i-1,j]==0){t2[i-1,j]=1;t3[i-
1,j]=a;mm=rbind(mm,c(i-1,j,0));aa=T}
      #Baixo
      if((i+1)<=nrow(t2)){
if(t2[i+1,j]==0){t2[i+1,j]=1;t3[i+1,j]=a;mm=rbind(mm,c(i+1,j,0));aa=T}
        }
      #direita
      if((j+1)<=ncol(t2)){
if(t2[i,j+1]==0){t2[i,j+1]=1;t3[i,j+1]=a;mm=rbind(mm,c(i,j+1,0));aa=T}
        }
      #esquerda
      if(t2[i,j-1]==0){t2[i,j-1]=1;t3[i,j-
1]=a;mm=rbind(mm,c(i,j-1,0));aa=T}
      #cima direita
      if((j+1)<=ncol(t2)){
        if(t2[i-1,j+1]==0){t2[i-1,j+1]=1;t3[i-
1,j+1]=a;mm=rbind(mm,c(i-1,j+1,0));aa=T}
        }
      #Baixo direita
      if((j+1)<=ncol(t2)){
        if((i+1)<=nrow(t2)){
if(t2[i+1,j+1]==0){t2[i+1,j+1]=1;t3[i+1,j+1]=a;
mm=rbind(mm,c(i+1,j+1,0));aa=T}
        }}
      #cima esquerda
      if(t2[i-1,j-1]==0){t2[i-1,j-1]=1;t3[i-1,j-
1]=a;mm=rbind(mm,c(i-1,j-1,0));aa=T}
      #Baixo esquerda
      if((i+1)<=nrow(t2)){
        if(t2[i+1,j-1]==0){t2[i+1,j-1]=1;t3[i+1,j-
1]=a;mm=rbind(mm,c(i+1,j-1,0));aa=T}
      }
    }
  }
}
}

```

```

    }
    if(aa==F){t2[i,j]=1}
  }
  m2=mm
}

```

```

m=cbind(expand.grid(1:nrow(t2),1:ncol(t2)),
c(t2))
m=(m[m[,3]<1,])
print(a)
#display(t2)
}

```

```

var=unique(c(t3))
var=var[-1]
num=length(var)
nn=round(perc*min(c(ncol(t3),nrow(t3))),0)

```

```

c=0
mn=t3*0

```

```

for(h in var){

```

```

  if(sum(t3==h)>=nn^2){
    c=c+1
    mn[t3==h]=c
    #display(t3)
  }

```

```

}
#display(mn)
mn=mn[-c(1,nrow(mn)),-c(1,ncol(mn))]
return(mn)}

```

**ANEXO B – ALGORITMO PARA A OBTENÇÃO DO CONTORNO DAS SEMENTES SENDO T A MATRIZ COM AS COORDENADAS DAS SEMENTES**

```

Contorno= function(t){

    t2=matrix(1,ncol=ncol(t),nrow=nrow(t))

    for( i in 1:(nrow(t))){
        im=F
        for(j in 1:ncol(t)){
            if(im==F){
                if(t[i,j]==0){t2[i,j]=0;im=T}
            }

            if(im==T){
                if(t[i,j]==1){t2[i-1,j]=0;im=F}
            }
        }
    }

    t2[nrow(t2),]=1
    return(t2)
}

```

**ANEXO C – ALGORITMO PARA A OBTENÇÃO DO COMPRIMENTO E LARGURA DE CADA SEMENTE, SENDO T A MATRIZ DE COORDENADAS DAS SEMENTES**

```
Cont=Contorno(t)
```

```
m=cbind(expand.grid(1:nrow(Cont),1:ncol(Cont)),c(Cont))
```

```
m=(m[m[,3]==0,])
```

```
pc=princomp(m[,1:2])
```

```
#plot(m[1:2])
```

```
Comp=dist(rbind(m[min(pc$scores[,1])==pc$scores[,1],1:2],  
m[max(pc$scores[,1])==pc$scores[,1],1:2]))
```

```
Larg=dist(rbind(m[min(pc$scores[,2])==pc$scores[,2],1:2],  
m[max(pc$scores[,2])==pc$scores[,2],1:2]))
```