

**DAYANE LITTIG BARKER CORELLA**

**PRÉ-MELHORAMENTO DA PALMEIRA MACAÚBA: CARACTERIZAÇÃO  
FENOTÍPICA E DIVERSIDADE GENÉTICA DE ACESSOS CONSERVADOS EM  
BANCO DE GERMOPLASMA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike

Coorientadores: Cosme Damião Cruz  
Kacilda Naomi Kuki  
Paulo César Stringheta

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C797p  
2022  
Corella, Dayane Littig Barker, 1991-  
Pré-melhoramento da palmeira macaúba: caracterização  
fenotípica e diversidade genética de acessos conservados em  
banco de germoplasma / Dayane Littig Barker Corella. – Viçosa,  
MG, 2022.

1 tese eletrônica (192 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.077>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Macaúba - Genética. 2. Variação genética.  
3. Parâmetros genéticos. I. Motoike, Sérgio Yoshimitsu, 1967-  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.  
III. Título.

CDD 22. ed. 633.851

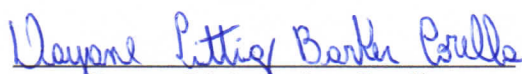
**DAYANE LITTIG BARKER CORELLA**


**PRÉ-MELHORAMENTO DA PALMEIRA MACAÚBA: CARACTERIZAÇÃO  
FENOTÍPICA E DIVERSIDADE GENÉTICA DE ACESSOS CONSERVADOS EM  
BANCO DE GERMOPLASMA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 06 de dezembro de 2022.

Assentimento:

  
Dayane Littig Barker Corella  
Autora

  
Sérgio Yoshimitsu Motoike  
Orientador

*Aos meus pais Aurinete e Guilherme.*

*Ao meu esposo, Rolando.*

*Ao meu querido e amado falecido avô Aristides Littig.*

**OFEREÇO E DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a DEUS, pela vida, pela saúde e forças para que eu pudesse alcançar esse grande sonho profissional e acadêmico.

Aos meus pais, Aurinete e Guilherme, à minha avó Ana, à minha tia Auliete, irmã Auryane, cunhado Guilherme, sobrinhos Alyssia e Guilherme e demais familiares pela compreensão nos dias ausentes, por todo amor e carinho, por sempre acreditarem e valorizarem minha dedicação aos estudos.

Ao meu esposo Rolando, pelo companheirismo, apoio, incentivos, por todo seu amor e carinho, por sempre estar ao meu lado.

Ao meu orientador professor Sérgio Motoike pela confiança, ensinamentos, e preciosas orientações, excelente educador e grande exemplo a ser seguido.

Aos meus coorientadores Cosme Damião Cruz, Naomi Kuki e Paulo Stringheta, pelas orientações, correções e sugestões muito essenciais na execução do trabalho.

Aos funcionários da Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão de Araçuaia Emílio, Rui, Girson, Adiliano, Sidiclei, Valter, José Aparecido, Julio Cesar, enfim a todos que ajudaram das diversas atividades e nas realizações dos trabalhos de campo.

Aos técnicos de laboratório Francisco e Andressa, pela disponibilidade, treinamentos e contribuições nas realizações das atividades no laboratório de Pós-colheita da Macaúba e no Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal.

Ao funcionário Bebeto e ao estagiário Lucas pela grande ajuda nas avaliações pós-colheita dos frutos. Ao Valdeir pela disponibilidade e ajuda nas análises realizadas no Laboratório de Corantes Naturais e Compostos Bioativos.

Aos amigos queridos do Remape: prof. Sebastian, Débora, Vanessa, Geís, Silvia, Pauliana, Luana, Takefumi, Míria, Suzy, Otto, Paulo entre muitos outros, pela amizade, pelas conversas, ajuda nas dúvidas, disponibilidade e pelos bons momentos convividos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização do doutorado e pela formação que me proporcionou. À Capes pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Enfim, a todos que, de alguma maneira, contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho, sem o apoio de cada um eu nada teria feito.

Muito Obrigada!

*“Assim, já não sou eu quem vive,  
mas Cristo vive em mim.  
A vida que agora vivo no corpo,  
vivo-a pela fé no filho de Deus,  
que me amou e se entregou por mim”.*

**(Gálatas 2:20)**

## BIOGRAFIA

Dayane Littig Barker Corella, casada, 31 anos de idade, filha de Guilherme Barker e Aurinete Littig Barker, nasceu no dia 14 de junho de 1991, em Baixo Guandu – Espírito Santo, Brasil. cursou o ensino médio e técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Colatina, concluindo-o em 2008. Ingressou, em 2010, no curso de Agronomia no Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus Itapina*, graduando-se em agosto de 2015. No mesmo ano, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT) da Universidade Federal do Espírito Santo, *Campus São Mateus*, concluindo-o em 2017. Em 2018, ingressou no Doutorado do programa de Pós-Graduação em Fitotecnia (PPGFIT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se à defesa de tese em 06 de dezembro de 2022.

## RESUMO

CORELLA, Dayane Littig Barker, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2022. **Pré-melhoramento da palmeira macaúba: Caracterização fenotípica e diversidade genética de acessos conservados em banco de germoplasma.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientadores: Cosme Damião Cruz, Kacilda Naomi Kuki e Paulo César Stringheta.

A macaúba (*Acrocomia* sp.) é uma das palmeiras de maior dispersão, podendo ser encontrada em quase todas as regiões brasileiras, e se destaca como uma espécie com alto potencial de produção de óleo. A fim de se conhecer sobre a diversidade genética dos acessos em fase de pré-melhoramento e orientar sobre os possíveis cruzamentos a serem realizados em um programa de melhoramento, objetiva-se com esse trabalho caracterizar os diferentes acessos de macaúba e identificar a variabilidade e o potencial de genótipos superiores com base em caracteres quantitativos. O experimento foi conduzido na Unidade Experimental de Araponga da Universidade Federal de Viçosa, em acessos das glebas V (procedentes de matrizes de Luz e de Santa Luzia-MG) e VI (procedentes de matrizes de diversas regiões brasileiras e um de Paraguai) pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG-Macaúba/UFV). Os acessos mineiros apresentaram médias produtivas de 49.72% para teor de óleo da polpa e 4.110 kg na produção de óleo por planta. As variáveis mais importantes para a discriminação dos acessos foram precocidade, projeção de copa, diâmetro de estipe, teor de óleo da polpa, comprimento e massa de ráquis, número de frutos por cacho, produção de óleo por planta, índice de massa processável e espessura de endocarpo. Os materiais genéticos mais precoces foram os acessos BGP 219, BGP 160, BGP 204, BGP 196 e BGP 215. Considerando variabilidade genética, precocidade e produtividade dos acessos recomenda-se os seguintes cruzamentos: BGP 160 x BGP 196; BGP 160 x BGP 204; BGP 160 x BGP 215; BGP 160 x BGP 224; BGP 160 x BGP 216 e BGP 180 x BGP 219. Em relação aos materiais procedentes das mais diversas regiões foram observadas altas herdabilidades entre os caracteres biométricos de frutos. O agrupamento pelo método UPGMA formaram três grupos enquanto que para o método de Tocher os acessos foram reunidos em sete grupos separados e as variáveis que mais contribuíram para a diferenciação dos acessos foram a massa fresca da amêndoa e o índice de massa processável. O teor de carotenoides variou de 13.74  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  a 532.61  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  entre os acessos e os ácidos graxos com maiores proporções foram o oleico, palmítico e linoleico. A intensidade da cor vermelha no óleo ( $a^*$ ) apresentou alta correlação positiva com o teor de carotenoides. As metodologias de agrupamento demonstraram serem eficientes ao estudar a

diversidade com formação de 3 a 6 grupos entre os conjuntos de caracteres de óleo avaliados. Os acessos procedentes de SP e principalmente MG se destacaram nos caracteres de rendimento e teor de ácidos graxos saturados do óleo, enquanto que os procedentes de MS e Paraguai também foram importantes para caracteres de composição e coloração do óleo. Existe grande variabilidade genética entre os acessos caracterizados e demonstram serem promissores em caracteres vegetativos, produtivos e biométricos de frutos, além de excelente desempenho nos caracteres oleíferos da polpa para as diversas aplicações industriais. Portanto, apresentam grande potencial de exploração em programa de melhoramento da macaúba.

Palavras-chave: *Acrocomia* sp. Variabilidade. Parâmetros genéticos.

## ABSTRACT

CORELLA, Dayane Littig Barker, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2022. **Pre-breeding of macauba palm: Phenotypic characterization and genetic diversity of accessions conserved in a germplasm bank.** Adviser: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Co-advisers: Cosme Damião Cruz, Kacilda Naomi Kuki and Paulo César Stringheta.

Macauba (*Acrocomia* sp.) is one of the most dispersed palm trees, being found in almost all Brazilian regions, and stands out as a species with high oil production potential. To be able understand the genetic diversity of the accessions during pre-breeding phase and to offer support to possible crosses to be carried out in a breeding program, this work aimed to characterize the different accessions of macauba and to identify the variability and the potential of superior genotypes based on quantitative characters. The experiment was carried out at the Experimental Unit of Araponga of the Universidade Federal de Viçosa, in accessions of glebes V (from Luz and Santa Luzia-MG) and VI (from different Brazilian regions and one from Paraguay) belonging to the Active Germplasm Bank (BAG-Macaúba/UFV). The accessions from Minas Gerais had an average of 49.72% for pulp oil content and 4.110 kg for oil production per plant. The most important variables for the discrimination of accessions were precocity, crown projection, stem diameter, pulp oil content, rachis length and mass, number of fruits per bunch, oil production per plant, processable mass index and thickness of endocarp. The most precocious genetic materials were accessions BGP 219, BGP 160, BGP 204, BGP 196 and BGP 215. Considering genetic variability, precocity and productivity of the accessions, the following crosses are recommended: BGP 160 x BGP 196; BGP 160 x BGP 204; BGP 160 x BGP 215; BGP 160 x BGP 224; BGP 160 x BGP 216 and BGP 180 x BGP 219. In relation to materials from the most diverse regions, high heritability was observed among the biometric characters of fruits. The UPGMA method formed three groups while the Tocher method grouped the material into seven separate groups and the variables that most contributed to the differentiation of the accessions were the almond fresh mass and the processable mass index. The carotenoid content varied from 13.74  $\mu\text{g.g}^{-1}$  to 532.61  $\mu\text{g.g}^{-1}$  among the accessions and the fatty acids with the highest proportions were oleic, palmitic and linoleic. The intensity of the red color in the oil ( $a^*$ ) showed a high positive correlation with the carotenoid content. The clustering methodologies proved to be efficient when studying the diversity with formation of 3 to 6 groups among the sets of oil characters evaluated. The accessions from SP and, mainly, MG

stood out in terms of yield and saturated fatty acid content in the oil, while those from MS and Paraguay were also important for oil composition and color characters. There is great genetic variability among the accessions tested and they show promise in vegetative, productive and biometric characters of fruits, in addition to excellent oleiferous performance of the pulp for the various industrial applications. Therefore, those accessions showed great potential for exploitation in a macauba palm breeding program.

Keywords: *Acrocomia* sp. Variability. Genetic parameters.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL .....	14
2.	REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1.	A macaúba ( <i>Acrocomia</i> sp.): Aspectos Gerais e Importância .....	15
2.2.	Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba/UFV) .....	19
2.3.	Pré-melhoramento e estudos no BAG-Macaúba/UFV .....	21
3.	OBJETIVOS.....	24
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25
CAPÍTULO I .....		29
VARIABILIDADE GENÉTICA E QUANTIFICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DE DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS DE ACESSOS DE MACAÚBA.....		29
RESUMO.....		30
1.	INTRODUÇÃO.....	32
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1.	Descritores Morfoagronômicos avaliados.....	35
2.1.1.	Características Vegetativas.....	36
2.1.2.	Características Produtivas .....	36
2.1.3.	Biometria dos frutos .....	38
2.2.	Análises genéticas e estatísticas .....	38
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
3.1.	Caracterização e Parâmetros Genéticos .....	39
3.2.	Correlação Fenotípica .....	47
3.3.	Importância Relativa das Variáveis - SINGH 1981 .....	52
3.4.	Redundâncias por Variáveis Canônicas .....	55
4.	CONCLUSÃO.....	59
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
CAPÍTULO II.....		64
PADRÃO DE DISSIMILARIDADE GENÉTICA E CRUZAMENTOS PROMISSORES ENTRE ACESSOS DE MACAÚBA COM BASE EM CARACTERES VEGETATIVOS, PRODUTIVOS E BIOMÉTRICOS DE FRUTOS.....		64
RESUMO.....		65

1.	INTRODUÇÃO.....	67
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	73
	3.1. Análise preliminar dos acessos menos e mais similares .....	73
	3.2. Agrupamentos e Cruzamentos Promissores.....	77
	3.3. Consistência da diversidade entre os descritores estudados .....	88
4.	CONCLUSÃO.....	91
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	91
	CAPÍTULO III.....	95
	CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E VARIABILIDADE GENÉTICA EM FRUTOS DE ACESSOS DE ACROCOMIA CONSERVADOS EM BANCO DE GERMOPLASMA .....	95
	RESUMO.....	96
1.	INTRODUÇÃO.....	98
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	99
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	103
	3.1. Caracterização Fenotípica .....	103
	3.2. Estimativas de Parâmetros Genéticos .....	107
	3.3. Dissimilaridade Genética .....	109
4.	CONCLUSÃO.....	117
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	118
	CAPITULO IV .....	122
	POTENCIAL E DIVERSIDADE GENÉTICA DE ACESSOS DE MACAÚBA BASEADOS NO RENDIMENTO, COMPOSIÇÃO E COLORAÇÃO DO ÓLEO DA POLPA .....	122
	RESUMO.....	123
1.	INTRODUÇÃO.....	125
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	127
	2.1. Área Experimental e Material Vegetal.....	127
	2.2. Avaliação dos caracteres do óleo da polpa .....	128
	2.2.1. Rendimento do Óleo.....	129
	2.2.2. Composição do Óleo .....	130
	2.2.3. Análise Colorimétrica do Óleo.....	132

2.3. Análises estatísticas.....	134
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	134
3.1. Variabilidade e Caracterização do óleo da polpa.....	134
3.1.1. Rendimento do Óleo.....	136
3.1.2. Composição do Óleo .....	139
3.1.3. Parâmetros Colorimétricos do Óleo .....	143
3.2. Estimativas de Correlação Fenotípica.....	145
3.3. Diversidade Genética e Potencial Oleífero .....	150
3.4. Consistência da diversidade entre matrizes de dissimilaridade .....	160
4. CONCLUSÃO.....	165
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	166
CONCLUSÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	175
APÊNDICES .....	177
MATERIAL SUPLEMENTAR – CAPÍTULO 1 .....	177
MATERIAL SUPLEMENTAR – CAPÍTULO 2 .....	183
MATERIAL SUPLEMENTAR – CAPÍTULO 3 .....	187
MATERIAL SUPLEMENTAR – CAPÍTULO 4 .....	189

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A macaúba (*Acrocomia* sp.) pertencente à família Arecaceae é uma palmeira ocorrente nas Américas Central e do Sul, e por sua ampla distribuição natural também pode ser encontrada em quase todas as regiões brasileiras. Possui aspectos ecológicos importantes, caracterizando-se por sua rusticidade e alta adaptabilidade a condições edafoclimáticas potencialmente estressantes (COLOMBO et al., 2018; MOTOIKE et al., 2013). No Brasil a macaúba ocorre desde o Pará até o Estado do Paraná, sendo mais expressiva nas regiões de cerrado dos Estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Minas Gerais, onde as condições climáticas são caracterizadas como verões chuvosos e invernos secos (EVARISTO et al., 2017; MOTOIKE et al., 2013).

A planta produz cachos volumosos que se destacam pelo grande número de frutos, compostos principalmente por mesocarpo (polpa) e amêndoa (endosperma) primariamente oleaginosos. Como matéria prima para interesses comerciais, seus frutos constituem-se excelente fonte alternativa de óleo vegetal, principalmente para indústrias alimentícias, cosméticas, farmacêuticas e de biocombustíveis (ALFARO-SOLÍS et al., 2020; CARDOSO et al., 2017; CICONINI et al., 2013; MACHADO et al., 2015; MONTOYA et al., 2016).

Durante o processo da domesticação de uma espécie, grandes áreas das ciências como Genética e Melhoramento de Plantas atuam de maneira fundamental para que novas culturas como a macaúba, possam ser exploradas racionalmente, viabilizando atividades industriais e impulsionando sua cadeia produtiva. O Estado de Minas Gerais, que detém uma das maiores populações naturais da palmeira, possui uma Lei Pró-Macaúba n° 19.485, que promove o incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba (ALMG, 2011). Espécies ainda pouco cultivadas precisam ser satisfatoriamente investigadas para que sua inserção no panorama agrícola seja segura. Assim, novas pesquisas referentes à palmeira vêm de encontro com a real necessidade que geram grandes perspectivas para o desenvolvimento econômico regional.

Trabalhos que envolvam etapas de identificação, caracterização e conservação da variabilidade dos recursos genéticos com a exploração da diversidade disponível, caracteriza todo o processo de pré-melhoramento de uma espécie (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). Segundo Lopes et al. (2014), o primeiro passo de um programa de melhoramento é a caracterização do material genético da espécie, a qual possibilitará avaliar a variabilidade genética entre os acessos e indicar aqueles que apresentam potencial para desenvolvimento de

cultivares vindouros. O conhecimento sobre a existência de materiais adaptados às condições ambientais diversas e a escolha dos melhores métodos de melhoramento para selecionar e direcionar os cruzamentos, é dependente dos estudos da variabilidade genética da espécie e seu comportamento no ambiente que, por sua vez, fundamentam programas de melhoramento (SILVA et al., 2017).

Fontes de variabilidade de materiais genéticos são essenciais em estudos de pré-melhoramento sendo comumente explorados em Bancos Ativo de Germoplasma (BAGs). Os estudos de diversidade genética da *Acrocomia* - realizadas na coleção ex-situ no Banco Ativo de Germoplasma da Macaúba (BAG-Macaúba / UFV) - tem permitido resultados relevantes que possibilitam orientar um melhor planejamento de cruzamentos futuros contribuindo para a formação de genótipos com caracteres agronômicos de interesse. Contudo, ainda existem na coleção vários acessos genéticos não caracterizados.

Inúmeros estudos e pesquisas realizados com a palmeira macaúba têm permitido avanços consideráveis. No entanto, ainda não se conhece completamente sobre sua total capacidade produtiva e rentável, devido a uma extensa variabilidade fenotípica dos genótipos existentes e ainda não investigados cientificamente. Neste sentido, estudos sobre informações genéticas e caracterização de acessos se tornam primordiais no pré-melhoramento, para que a macaúba possa ser explorada economicamente como uma cultura competitiva e de alta rentabilidade.

Sendo assim, é importante ampliar e aprofundar em estudos da diversidade genética, por meio da caracterização e avaliação de diferentes acessos, de forma a identificar genótipos de interesse presentes no BAG-Macaúba. Tal estratégia permite direcionar os cruzamentos de materiais genéticos superiores, em especial aqueles com características de produtividade e qualidade de óleo, contribuindo com o programa de melhoramento genético da macaúba para futuras recomendações de cultivares comerciais.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

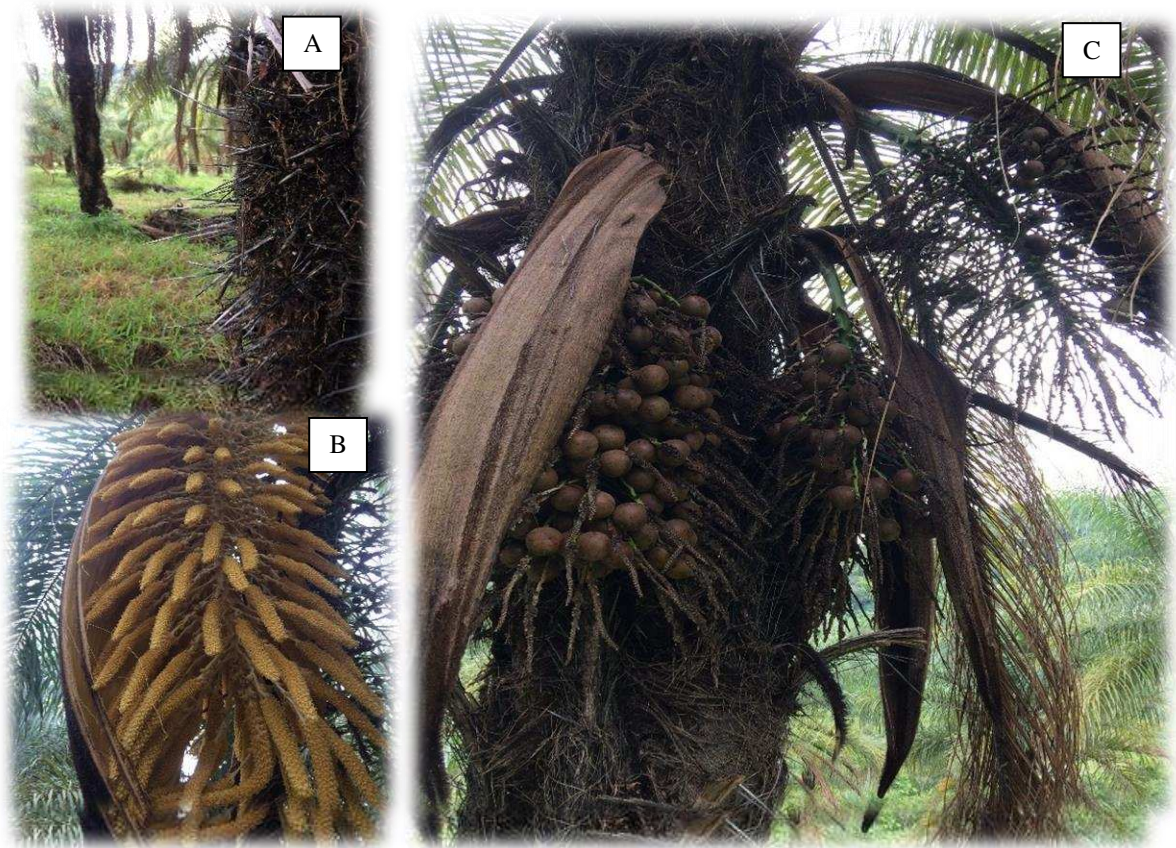
### **2.1. A macaúba (*Acrocomia* sp.): Aspectos Gerais e Importância**

A palmeira oleaginosa macaúba possui ampla distribuição geográfica com populações naturais ocorrentes nas regiões tropicais e subtropicais da América (LANES et al., 2015; LIEB et al., 2019; MOTOIKE et al., 2013; SILVA et al., 2017). No Brasil, encontra-se em quase todos os Estados, principalmente no bioma Cerrado onde ocorrem naturalmente com

maiores concentrações em Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul (COLOMBO et al., 2018; EVARISTO et al., 2017; LIMA et al., 2018; MONTOYA et al., 2016; TRENTINI et al., 2017). De acordo com a sua ampla distribuição territorial, a palmeira possui diferentes denominações populares, a depender de sua região de ocorrência, tais como: coco-baboso, coco-de-catarro, coco-de-espinho, bocaiúva, macaíba, macaibeira, macaúva, mucajaba, mucaia e, sobretudo, mais popularmente conhecida como macaúba (BHERING, 2010; LORENZI, 1996; LORENZI et al., 2010).

Devido a sua variabilidade fenotípica ao longo da sua distribuição geográfica, a identidade taxonômica da palmeira é controversa. *Acrocomia aculeata* é aceita por muitos como sendo a nomenclatura legítima, com cerca de 150 sinonímias, *A. sclerocarpa*, *A. totai*, *A. media*, *A. intumescens*, *A. belizensis*, *A. mexicana*, *A. minor*, *A. fusiformes*, entre outras (HENDERSON et al., 1995). Por outro lado, alguns estudiosos consideram que a *A. aculeata* possua somente 50 sinonímias, sendo que *A. totai* e *A. intumescens* são ditas como espécies distintas enquanto outros as consideram ecotipos (DÍAZ et al., 2021; DE LIMA et al., 2020). No Estado de Minas Gerais, a espécie, ou ecotipo, predominante é a *A. aculeata*; enquanto que *A. totai* e *A. intumescens* são mais comuns na região sudoeste e nordeste do Brasil.

A planta apresenta caule único geralmente com presença de muitos espinhos (Figura 1A); possui altura quando adulta em torno de 15 a 20 m (ROSADO et al., 2019; SILVA et al., 2017); os seus folíolos encontram-se aderidos nos pecíolos cuja base permanece persistente como parte estrutural do caule (LIMA et al., 2018); a inflorescência é composta por flores amareladas agrupadas em espigas as quais são protegidas por espatas (Figura 1B) que podem alcançar até 2 m de comprimento (LANES et al., 2015; LORENZI et al., 2010; ROSADO et al., 2019). Após a floração, a frutificação dará origem a cachos volumosos (Figura 1C), compostos por frutos drupáceos de polpa (mesocarpo) carnosa e oleaginosa, assim como a semente (MONTOYA et al., 2016).



**Figura 1** – Caule com presença de espinhos (A); Inflorescência (B) e cachos com frutos de macaúba. Fonte: Corella, D. L. B. (2020).

A polpa e a amêndoa (Figura 2) são ricas em ácidos graxos, podendo ser destinados as indústrias: alimentícias, como óleo de mesa, produção de margarinas e cremes vegetais; cosméticas, pela produção de óleo fino da amêndoa, rico em ácido láurico; farmacêuticas, devido a sua polpa antioxidante apresentar carotenoides e vitamina E, e também na produção de biocombustíveis (AMARAL et al., 2011; BHERING, 2010; COIMBRA; JORGE, 2011; MOTOIKE et al., 2013; RAMOS et al., 2008). Além destes, os frutos da macaúba geram coprodutos de alto valor agregado por meio de processamentos diversos, desde a fabricação de carvão vegetal sucedido de seu endocarpo (Figura 2), até mesmo produtos destinados à alimentação humana e animal provenientes dos farelos da polpa e amêndoa (EVARISTO et al., 2016, 2017; LANES et al., 2015). Contudo, apesar de seus recursos atrativos para os setores industriais, a palmeira ainda se encontra em processo de domesticação e a geração de informações técnico-científicas possibilitará que a espécie expresse seu máximo potencial como cultura primordialmente oleaginosa.



**Figura 2** – Partes constituintes dos frutos e os óleos de polpa e amêndoa de macaúba. Fonte: Corella, D. L. B. (2022).

A produção mundial de óleos vegetais alcançou 206.54 milhões de toneladas (2020/2021), com participação de 10.27 milhões de toneladas produzidas no Brasil (USDA, 2022). De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, com o crescimento populacional mundial, estima-se para 2050 cerca de 9.7 bilhões de pessoas no mundo e como consequência serão necessários aumentar a produção de alimentos em 50% (ONU, 2019). Para atender a demanda crescente das populações por óleo vegetal, seja para o consumo humano e animal, indústrias e biocombustíveis, serão necessários maiores produções das oleaginosas já existentes. Outra alternativa viável seria o fornecimento de óleo vegetal por meio de novas fontes sustentáveis de maiores rendimentos e que reduzem possíveis impactos ambientais.

A produção de óleo no mundo está restrita a poucas fontes de óleo vegetal necessitando de diversificação de matrizes oleaginosas, e oferecer uma fonte alternativa como a macaúba, seria um alívio ao mercado, não ficando esse refém das culturas tradicionais. Em termos percentuais, dentre os valores mais expressivos das fontes oleaginosas estão o dendê (*Elaeis guineenses*) que lidera com 39.47% do total da produção, em seguida a soja com 28.65%, a canola com 14.15% e o girassol com 9.22% (USDA, 2022). A macaúba, além de apresentar alta produtividade, demonstra competência para o cultivo em ampla variação

climática, tolerando extremos de temperatura e disponibilidade de água, incompatíveis com o dendê e outras oleaginosas (MOTOIKE et al., 2013). Segundo Coser (2016) e Colombo et al. (2018), sobre o potencial de produção, a macaúba tem condições de se equiparar ao dendê, especialmente nas áreas onde a sazonalidade pluviométrica dificultaria o cultivo da palma.

A palmeira ainda se adequa ao cultivo em áreas de pastagens degradadas e sistemas consorciados de cultivo, constituindo-se como excelente atividade sustentável, econômica e ambiental (BHERING, 2010; COLOMBO et al., 2018; LANES et al., 2016; MOTOIKE; KUKI, 2009). Estudos ambientais relacionados a busca por estratégias para minimizar os efeitos das mudanças climáticas ocasionadas pelas altas emissões de gases, realizados por Fernández-Coppel et al. (2018), concluíram que a palmeira macaúba para produção de óleo, possui maiores benefícios ambientais quando comparadas com culturas energéticas tais como, girassol, castanha-do-pará, canola ou mamona.

Como uma saída para elevar a economia de forma ambientalmente sustentável, propostas de projetos com a macaúba atraem políticas públicas do país. Estratégias de produção aliadas ao bem social, econômico e ambiental da população, são aspectos importantes que colaboram em tomadas de decisão quanto aos investimentos na exploração racional da macaúba. No Brasil, iniciativas privadas e públicas já estabelecem vários programas para bioenergia e biocombustíveis (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017).

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP 2018), o que mais tem incentivado investimentos em políticas públicas para a utilização das potencialidades regionais com desenvolvimento sustentável e geração de renda e empregos, são, principalmente o cultivo das matérias-primas favorecidas pela disponibilidade territorial e condições climáticas existentes. Assim, devido sua boa estabilidade e adaptabilidade climática e territorial, mais uma vez, a palmeira macaúba consiste em uma boa alternativa como matéria-prima. Isso inclui o real interesse que o setor brasileiro possui na produção de óleo para consumo humano e como combustível verde que possam atender os principais requisitos de qualidade, sustentabilidade e melhor custo-benefício, garantindo competitividade no mercado (ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS, 2019).

## **2.2. Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba/UFV)**

O banco ativo de germoplasma (BAG) é definido como uma coleção viva do patrimônio genético de determinada espécie, e pode ser composto por uma variabilidade

de materiais genéticos, podendo serem espécies silvestres encontradas em regiões de ocorrência natural, variedades nativas, cultivares de polinização aberta, linhas puras, cultivares obsoletos, produtos de estudos do programa de melhoramento, entre outros (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017). Segundo Lanes et al. (2015), estudos iniciais da caracterização genética realizados em materiais vegetais conservados em banco de germoplasma, são os primeiros passos para o conhecimento da diversidade genética e o melhoramento da espécie que se pretende domesticar. As coleções existentes em um banco de germoplasma além de contribuir com a conservação dos recursos genéticos, permite conhecer sobre a diversidade genética dos materiais conservados e seu potencial de exploração para recomendações futuras considerados de grande importância para o programa de melhoramento da palmeira (MENGISTU; MOTOIKE; CRUZ, 2016).

A identificação de genótipos potencialmente úteis para o programa de melhoramento é dada por meio de estudos de caracterização e documentação de materiais presentes em bancos de germoplasma, essas informações permitirão a identificação de acessos que apresentam caracteres de interesse de produtividade, teor de óleo e proteínas, qualidades morfológicas e resistência a doenças, por exemplo (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017). De acordo com Manfio et al. (2012) a caracterização de amostras existentes em bancos de germoplasma, além de identificar os materiais genéticos para estudos de melhoramento, visa também possibilitar que o máximo da variabilidade genética seja reunida e preservada.

Para fins de conservação da espécie e fonte de estudos para o melhoramento da macaúba, foi criado em 2009 o Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba), localizado na Unidade da Fazenda Experimental no município de Araponga/Minas Gerais (20°40'01" S e 42°31'15" W), a propriedade é de responsabilidade do Departamento de Agronomia e pertencente a Universidade Federal de Viçosa.

O BAG-Macaúba possui amostras do patrimônio genético da palmeira com registro credencial nº084/2013 SECEX/CGEN, considerado um dos principais bancos de germoplasma registrado no mundo para a palmeira macaúba (COSER et al., 2016; LANES et al., 2015; SIMIQUELI et al., 2018). Ocupa uma área de aproximadamente quatro hectares e conta com mais de 300 acessos genéticos distribuídos entre as mais de 1250 plantas devidamente organizadas e identificadas, distribuídas em seis 'glebas' que são as diferentes porções de áreas com acessos de macaúba definidas pelo período de plantio. As glebas I e II, contam com acessos que foram plantados em 2009, as glebas III e IV, com acessos plantados em 2011, e as glebas V e VI com acessos cujos plantios foram

realizados nos anos de 2012 e 2013, respectivamente. As plantas pertencentes a estas duas últimas glebas iniciaram seu período de produção e ainda não haviam sido estudadas sobre a caracterização do potencial e a diversidade destes materiais genéticos.

Os acessos existentes no BAG-Macaúba possuem grande variabilidade fenotípica, pois foram coletados de maciços naturais de diversas procedências brasileiras e do exterior. Atualmente, além dos importantes estudos fisiológicos, nutricionais, sistemas de cultivo e de propagação da espécie, os acessos disponibilizados no banco têm sido alvo das pesquisas relacionadas principalmente a genética e o melhoramento da macaúba.

### **2.3. Pré-melhoramento e estudos no BAG-Macaúba/UFV**

Todo o trabalho que envolve estudos iniciais de caracterização e identificação de genótipos de interesse existentes em bancos de germoplasmas define a importante etapa de pré-melhoramento, processo no qual unifica atividades de pesquisa de coleta, conservação da variabilidade dos recursos genéticos e exploração da diversidade genética para programas de melhoramento (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). As informações sobre os recursos genéticos derivadas dos dados coletados e dos materiais caracterizados procedentes de bancos de germoplasma, informa sobre a amplitude da base genética existente, importante no processo de melhoramento de uma espécie com objetivos finais de desenvolvimento de cultivares superiores (COSER, 2016).

Além da importância de se conhecer o germoplasma disponível, o sucesso de um programa de melhoramento consiste na existência de variabilidade na população, resultado de análises aplicadas quanto a diversidade genética dos materiais. O estudo da diversidade genética entre e dentro de populações em bancos de germoplasma, são realizados por meio da quantificação das diferenças entre características fenotípicas mensuradas em genótipos, as quais são determinadas por poligenes de pequenos efeitos e influenciadas pelo ambiente (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). Segundo Manfio et al. (2011), as atividades de coleta, caracterização, identificação do desempenho biológico e de genes desejáveis em materiais que não passaram por nenhuma forma de seleção, são essenciais para o início do melhoramento genético em busca de genótipos potencialmente úteis. Na busca por um ideótipo da macaúba, características agrônômicas de maior interesse, que garantem facilidade no manejo e maior produção final da espécie, se tornam fundamentais para o sucesso de sua exploração.

De acordo com Cruz; Ferreira e Pessoni (2020), para maximizar quantitativamente caracteres relacionados a interesses econômicos, avaliados por meio da diversidade genética, é preciso amplos esforços nas adequadas estratégias de identificação e seleção que garantem o sucesso da escolha ideal de combinações potenciais. Para Coser (2016), conhecer a diversidade genética, avaliar parâmetros genéticos e selecionar genótipos de interesse através dos estudos de caracterizações vegetativas e produtivas, constituem-se etapas iniciais importantes para o programa de melhoramento da macaúba.

Dentre os métodos preditivos de divergência genética utilizados, existem os que avaliam a diversidade por meio de medidas de dissimilaridade (distância de Mahalanobis e a distância euclidiana média), estes se baseiam em diferenças fenotípicas morfológicas e fisiológicas dos genitores (MANFIO et al., 2012). Adicionalmente, em avaliações da diversidade genética das plantas, podem ser aplicadas técnicas multivariadas para análises de agrupamentos, capazes de unificar genótipos similares de maneira que as maiores diferenças ocorram entre os grupos formados, assim, a análise de grupos permite avaliar a capacidade de discriminação de indivíduos nas suas respectivas populações, baseados nas características de interesse consideradas (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

A macaúba já foi muito explorada de forma extrativista no Brasil, e mais recentemente tem despertado interesses comerciais com início de plantios racionais da cultura nos últimos anos (COLOMBO et al., 2018). Este avanço da introdução da espécie, foi possibilitado principalmente pela oferta de mudas homogêneas formadas por uma tecnologia de quebra da dormência de suas sementes, descobertas por pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa (MOTOIKE et al., 2013). Após a solução para uma das principais problemáticas da formação de mudas da palmeira, posteriores estudos e pesquisas foram realizadas contribuindo com importantes informações técnico-científicas para o sucesso inicial do estabelecimento de cultivos da macaúba.

Sumarizados abaixo estão os principais resultados científicos referente a palmeira oriundos de trabalhos realizados no BAG-Macaúba/UFV com o objetivo do melhoramento genético da espécie:

- Manfio et al. (2012), avaliando progênes de matrizes de Minas Gerais e São Paulo, observaram que o crescimento e a altura das plantas indicaram grande variabilidade entre elas, com coeficientes de herdabilidade no sentido restrito de elevada magnitude;

- Rueda (2014) obteve alta herdabilidade para a maioria dos caracteres vegetativos, com variabilidade genética suficiente para o melhoramento genético a médio e a longo prazo;
- Lanes et al. (2015), por meio da caracterização molecular, encontraram um alto grau de diversidade molecular entre os acessos, e que o Estado de Minas Gerais é um possível centro de diversidade genética para *A. aculeata*;
- Coser et al. (2016), concluíram que as características das progênies do BAG-Macaúba apresentaram coeficientes de herdabilidade moderado a alto e que as correlações entre elas permitiram ganhos genéticos por seleção indireta e precoce;
- Lanes et al. (2016) mostraram que a espécie possui um sistema de acasalamento predominantemente cruzado, além de níveis mais altos de heterozigosidade em adultos do que em juvenis;
- Mengistu; Motoike e Cruz (2016) relataram maior variabilidade genética dentro da população do que entre as populações, além disso, confirmaram a predominância de endogamia conforme heterozigosidade média reduzida.
- Costa et al. (2018), encontraram para o caractere produção de óleo um coeficiente de variação genética elevado, potencial para a seleção e obtenção de ganho genético, além de resultados de boa correlação positiva da matéria seca da polpa e o rendimento de óleo, possibilitando seleção indireta de frutos.
- Silva (2019), constatou variabilidade que pode ser explorada tanto para fase de seleção para geração F2 quanto para orientação de novos cruzamentos dirigidos. Além destes, foi possível obter sucesso na compatibilidade das hibridações mediante a nova metodologia de abertura artificial e antecipada de espata.
- Oliveira (2020), avaliando um teste de progênie formado por indivíduos de procedências de MG, indicou a progênie de origem em Santa Luzia para se iniciar cruzamentos, visto que apresentou maior uniformidade genética para caracteres produtivos destacando os 10 melhores indivíduos conforme características selecionadas.

- Madeira (2021), em seus estudos da diversidade genética e seleção de acessos de diferentes procedências brasileiras encontrou ampla variabilidade entre os materiais estudados e destacou que populações provenientes de MS foram os que obtiveram maiores teores de carotenoides na polpa enquanto que as plantas de MG foram as consideradas de melhores genótipos para caracteres de produtividade, teor de óleo e biometria de frutos.

O BAG-Macaúba é constantemente enriquecido com novos acessos genéticos sejam estes oriundos de excursões, coletas científicas ou resultantes de cruzamentos direcionados no próprio banco. Tais materiais necessitam ser incorporados aos estudos de caracterização genética e diversidade, garantindo assim a completa descrição da coleção para subsidiar os programas de melhoramento da palmeira. O presente estudo contribuirá no conhecimento da variabilidade genética existente entre os acessos procedentes das mais diversas regiões, apresentando resultados para o potencial de melhoramento da macaúba, além de fornecer uma completa caracterização vegetativa, produtiva, biométrica de frutos e de qualidade dos óleos das plantas em produção mais recentemente adicionadas ao banco de germoplasma (plantios nos anos 2012 e 2013 - glebas V e VI, respectivamente).

### 3. OBJETIVOS

A fim de contribuir com o estabelecimento do programa de melhoramento genético da macaúba, a presente pesquisa focou na avaliação e caracterização de acessos de macaúba pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma/UFV. Para tanto, o trabalho foi segmentado em quatro investigações independentes (capítulos I a IV) objetivando:

- **Capítulo I:** Identificar a variabilidade fenotípica e quantificar importantes descritores morfoagronômicos de 36 acessos de macaúba pertencentes a gleba V do BAG;
- **Capítulo II:** Quantificar a dissimilaridade genética e inferir sobre cruzamentos promissores entre os 36 acessos a partir das informações fenotípicas relativas as características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos;
- **Capítulo III:** Caracterizar, estimar parâmetros genéticos e identificar a variabilidade genética por meio da biometria dos frutos de 29 acessos de macaúba pertencentes a gleba VI do BAG;
- **Capítulo IV:** Avaliar o potencial e a diversidade genética dos 29 acessos com base no rendimento, composição e coloração do óleo da polpa de macaúba.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARO-SOLÍS, J. D. et al. Acrocomia aculeata fruits from three regions in Costa Rica: an assessment of biometric parameters, oil content and oil fatty acid composition to evaluate industrial potential. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 5, p. 1913–1927, 2020.

ALMG. **Institui a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas - Pró-Macaúba.** Disponível em: <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=19485&comp=&ano=2011>>. Acesso em: 1 jun. 2020.

AMARAL, F. P. DO et al. Extração e caracterização qualitativa do óleo da polpa e amêndoas de frutos de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart] coletada na região de Botucatu, SP. **Energia Na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 12–20, 2011.

ANP (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS). **Produção e fornecimento de biocombustíveis.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis>>. Acesso em: 2 jun. 2020.

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS. **Projeto Macaúba seria saída sustentável para economia de MG.** Disponível em: <[https://www.almg.gov.br/acompanhe/noticias/arquivos/2019/08/22\\_audiencia\\_conjunta\\_bioquerosene.html](https://www.almg.gov.br/acompanhe/noticias/arquivos/2019/08/22_audiencia_conjunta_bioquerosene.html)>. Acesso em: 1 jun. 2020.

BHERING, L. **O potencial da macaúba como oleífera para biocombustíveis | BiodieselBR.com.** Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/018/direto-do-laboratorio-18>>. Acesso em: 2 jun. 2020.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas.** 7. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2017.

CARDOSO, A. et al. Opportunities and challenges for sustainable production of *A. aculeata* through agroforestry systems. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 573–580, 2017.

CICONINI, G. et al. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 208–214, 2013.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jervá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2139–2142, 2011.

COLOMBO, C. A. et al. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL**, v. 25, n. 1, p. 9, 2018.

COSER, S. M. **Breeding *Acrocomia aculeata* for vegetative, phenological, reproductive and productive traits.** 2016. 53 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento): Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

COSER, S. M. et al. Breeding of *Acrocomia aculeata* using genetic diversity parameters and

correlations to select accessions based on vegetative, phenological, and reproductive characteristics. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 4, 2016.

COSTA, A. M. et al. Genetic parameters and selection of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) accessions: an alternative crop for biofuels. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 259–266, 2018.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 2. ed. Viçosa: Suprema, 2020.

DE LIMA, N. E.; MEEROW, A. W.; MANFRIN, M. H. Genetic structure of two *Acrocomia* ecotypes (Arecaceae) across Brazilian savannas and seasonally dry forests. **Tree Genetics and Genomes**, v. 16, n. 4, p. 1–12, 2020.

DÍAZ, B. G. et al. Genome-wide SNP analysis to assess the genetic population structure and diversity of *Acrocomia* species. **PLoS ONE**, v. 16, n. 7, p. e0241025, 2021.

EVARISTO, A. B. et al. Energy potential of the macaw palm fruit residues and their use in charcoal production. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 2, p. 571–577, 2016.

EVARISTO, A. B. et al. Caracterização físico-química de frutos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. **Revista Agrotecnologia**, v. 8, n. 2, p. 81–92, 2017.

FERNÁNDEZ-COPPEL, I. A. et al. Life cycle analysis of macauba palm cultivation: A promising crop for biofuel production. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 556–566, 2018.

HENDERSON, A.; GALEANO G.; BERNAL R. 1995. *Field Guide to the Palms of Americas*. Princeton University Press, Princeton, 1995.

LANES, É. C. M. et al. Molecular Characterization and Population Structure of the Macaw Palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), Ex Situ Germplasm Collection Using Microsatellites Markers. **Journal of Heredity**, v. 106, n. 1, p. 102–112, 2015.

LANES, É. C. M. et al. Mating System and Genetic Composition of the Macaw Palm (*Acrocomia aculeata*): Implications for Breeding and Genetic Conservation Programs. **Journal of Heredity**, v. 107, n. 6, p. 527–536, 2016.

LIEB, V. M. et al. Fatty acids and triacylglycerols in the mesocarp and kernel oils of maturing Costa Rican *Acrocomia aculeata* fruits. **NFS Journal**, v. 14–15, p. 6–13, 2019.

LIMA, N. E. DE et al. A review of the palm genus *Acrocomia*: Neotropical green gold. **Organisms Diversity and Evolution**, v. 18, n. 2, p. 151–161, 2018.

LOPES, F. DE A. et al. **Protocolo de implantação do banco de germoplasma de macaúba da Universidade Federal de Viçosa (bag - macaúba) - Portal Macaúba**. Disponível em: <<http://www.portalmacauba.com.br/2014/10/protocolo-de-implantacao-do-banco-de.html>>. Acesso em: 28 maio. 2020.

LORENZI, H. **Palmeiras no Brasil nativas e exóticas**. Nova Odessa: Nova Odessa Plantarum, 1996.

- LORENZI, H. et al. **Flora brasileira Lorenzi arecaceae (palmeiras)**. Nova Odessa: Nova Odessa Instituto Plantarum, 2010.
- MACHADO, W. et al. Evaluation of two fruit ecotypes (total and sclerocarpa) of macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Industrial Crops and Products**, v. 63, p. 287–293, 2015.
- MADEIRA, D. D. C. **Diversidade e seleção de acessos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) baseadas em atributos do óleo e de produtividade**. 2021. 82 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) -: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.
- MANFIO, C. E. et al. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 1, p. 70–76, 2011.
- MANFIO, C. E. et al. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 63–68, 2012.
- MENGISTU, F. G.; MOTOIKE, S. Y.; CRUZ, C. D. Molecular characterization and genetic diversity of the macaw palm ex situ germplasm collection revealed by microsatellite markers. **Diversity**, v. 8, n. 4, p. 20, 2016.
- MONTOYA, S. et al. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, n. 4, p. 927–938, 2016.
- MOTOIKE, S.; KUKI, K. N. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, p. 632–635, 2009.
- MOTOIKE, S. Y. et al. **A cultura da macaúba implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa: Editora UFV, 2013.
- OLIVEIRA, L. A. DE. **Seleção de genótipos superiores de macaúba em teste de progênie**. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento): Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.
- ONU, O. DAS N. U. **World Population Prospects 2019**. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.
- RAMOS, M. I. L. et al. Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 90–94, 2008.
- ROSADO, R. D. S. et al. Genetic parameters and simultaneous selection for adaptability and stability of macaw palm. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 291–296, 2019.
- RUEDA, R. A. P. **Avaliação de germoplasma para melhoramento e a conservação da macaúba**. 2014. 58 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) -: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- SILVA, L. C. C. et al. Genetic Diversity and Structure of Macaw Palm: Implications for Genetic Variability Sampling. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, 2017.
- SILVA, T. C. **Cruzamentos dirigidos e caracterização de híbridos F1 de plantas de macaúbas**. 2019. 88 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) -: Universidade

Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

SIMIQUÉLI, G. F. et al. Inbreeding depression as a cause of fruit abortion in structured populations of macaw palm (*Acrocomia aculeata*): Implications for breeding programs. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 652–659, 2018.

TRENTINI, C. P. et al. Oil extraction from macauba pulp using compressed propane. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 126, p. 72–78, 2017.

USDA. **Oilseeds : World Markets and Trade**. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/>>. Acesso em: 16 maio 2022.

## **CAPÍTULO I**

### **VARIABILIDADE GENÉTICA E QUANTIFICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DE DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS DE ACESSOS DE MACAÚBA**

## VARIABILIDADE GENÉTICA E QUANTIFICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DE DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS DE ACESSOS DE MACAÚBA

### RESUMO

Em estudos de conservação e caracterização da diversidade dos materiais genéticos, a variabilidade fenotípica e a identificação de descritores importantes para a discriminação dos acessos investigados são essenciais para o programa de pré-melhoramento de uma espécie. Assim, objetivou-se com este trabalho caracterizar e avaliar descritores morfoagronômicos de 36 acessos genéticos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Universidade Federal de Viçosa (BAG-Macaúba) quanto a: variabilidade, os parâmetros genéticos estimados e as correlações entre características avaliadas, de modo a inferir sobre o potencial de melhoramento da macaúba. Adicionalmente verificou-se a importância relativa das variáveis e possíveis redundâncias em caracteres. Foram avaliados descritores vegetativos, produtivos e biométricos de frutos referente a safra 2019/2020. Os dados foram submetidos a análise de variância, correlações e a contribuição relativa das variáveis, realizadas por meio da análise multivariada baseada na distância generalizada de Mahalanobis, além das técnicas de variáveis canônicas utilizadas para o descarte pela redundância. Os acessos apresentaram médias produtivas de 49.72% para teor de óleo da polpa e 4.110 kg na produção de óleo por planta, índice de massa processável de 35.49, com 1.82 safras produtivas em média. Herdabilidades altas e muito altas (acima de 0.50) foram encontradas na maioria dos caracteres avaliados e maior coeficiente de variação genético para produção de óleo por planta com 47.44%. Foram verificadas altas correlações positivas entre as características biométricas dos frutos. As variáveis mais importantes para a discriminação dos acessos avaliados foram precocidade, projeção de copa, diâmetro de estipe, teor de óleo da polpa, comprimento e massa de ráquis, número de frutos por cacho, produção de óleo por planta, índice de massa processável e espessura de endocarpo. Os descritores passíveis de descarte foram o diâmetro transversal do fruto, a massa fresca do fruto, a massa média do cacho e o início da fase produtiva das plantas. Existe variabilidade genética entre os acessos caracterizados e apresentam caracteres agrônômicos desejáveis.

**Palavras-chave:** *Acrocomia aculeata*. Pré-Melhoramento. Parâmetros Genéticos.

## GENETIC VARIABILITY AND QUANTIFICATION OF THE IMPORTANCE OF MORPHOAGRONOMIC DESCRIPTORS OF MACAUBA ACCESSIONS

### ABSTRACT

In studies of conservation and characterization of the diversity of genetic materials, the phenotypic variability and the identification of important descriptors for the discrimination of investigated accessions are essential for the pre-breeding program of a species. Thus, the objective of this work was to characterize and evaluate morphoagronomic descriptors of 36 genetic accessions of macauba (*Acrocomia aculeata*) belonging to the Active Germplasm Bank of the Universidade Federal de Viçosa (BAG-Macaúba) regarding: variability, estimated genetic parameters and correlations between evaluated characteristics, in order to infer the palm's improvement potential. Additionally, the relative importance of the variables and possible redundancies in characters were verified. Vegetative, productive and biometric descriptors of fruits referring to the 2019/2020 harvest were evaluated. Data were subjected to analysis of variance, correlations and the relative contribution of variables, through multivariate analysis based on generalized Mahalanobis distance, in addition to the canonical variable techniques used for redundancy discard. Accessions had excellent yield averages of 49.72% for pulp oil content and 4.110 kg in oil production per plant, processable mass index of 35.49, with 1.82 yielding crops on average. High and very high heritability (above 0.50) were found in most of the characters evaluated and the highest genetic variation coefficient for oil production per plant reached almost 47.44 %. High positive correlations were verified between the biometric characteristics of the fruits. The most important variables for the discrimination of the evaluated accessions were precocity, canopy projection, stem diameter, pulp oil content, length and mass of rachis, number of fruits per bunch, oil production per plant, processable mass index and endocarp thickness. The descriptors recommended for discarded were: the transversal diameter of the fruit, the fresh fruit mass, the average mass of the bunch and the beginning of the productive phase of the plants. There is genetic variability among the characterized accessions and they show desirable agronomic characters.

**Keywords:** *Acrocomia aculeata*. Pre-Breeding. Genetic Parameters.

## 1. INTRODUÇÃO

Pertencente à família Arecaceae, a palmeira oleaginosa *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., popularmente conhecida como macaúba, encontra-se distribuída nas regiões tropicais e subtropicais da América Central e do Sul (LANES et al., 2015; LIEB et al., 2019; MOTOIKE et al., 2013; SILVA et al., 2017). No Brasil, a espécie é encontrada em diferentes eco regiões, desde o Cerrado até a Floresta Tropical Úmida (COLOMBO et al., 2018; LIMA et al., 2018; MONTROYA et al., 2016), ocorrendo especialmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul (EVARISTO et al., 2017; MOTOIKE et al., 2013; SILVA et al., 2017).

Lanes et al. (2015) revelaram que acessos de macaúba procedentes de Minas Gerais apresentam elevada variabilidade genética e uma alta variação alélica dentro e entre as populações, e, portanto, são materiais promissores para início de um programa de melhoramento. Informações sobre a variabilidade genética das espécies e sua relação com o ambiente são necessárias em desenvolvimento de cultivares, visto que constituem um dos pilares para a domesticação e exploração de qualquer cultura (COSTA et al., 2018; DOMICIANO et al., 2015; NOBRE et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Os Bancos Ativos de Germoplasma (BAGs) representam importante unidades de conservação e fonte de materiais genéticos da espécie. A avaliação e caracterização de acessos preservados em BAGs, permitem conhecer a magnitude da variabilidade por meio das estimativas dos parâmetros genéticos que são os principais subsídios no planejamento de estratégias eficientes em um programa de melhoramento vegetal (MANFIO et al., 2012; ROSADO et al., 2019; BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017; COSTA et al., 2018). Desta forma, a partir de informações obtidas por uma caracterização fenotípica, é possível estimar parâmetros genéticos importantes para o melhoramento da cultura, por meio da identificação, conservação e exploração da variabilidade genética dos materiais disponíveis. Neste contexto, a identificação de acessos de macaúba que apresentam características morfoagronômicas superiores - que garantam facilidade no manejo, obtenção de qualidade da matéria-prima e maiores produtividades - constitui-se passo significativo na domesticação e consolidação do cultivo da espécie (COSTA et al., 2018; REIS et al., 2019; ROSADO et al., 2019).

Assim, entende-se que caracteres incluindo altura da planta, projeção da copa, precocidade, tamanhos dos frutos, produtividade e teor de óleo são relevantes no estudo de melhoramento da macaúba, como atestou Coser et al. (2016). Outros autores relatam que a

altura da planta, número de ráquis, comprimento e largura das ráquis e área foliar total, são características morfológicas geralmente avaliadas para estimação da variabilidade de populações (DOMICIANO et al., 2015). Evaristo et al. (2017), relataram que o conhecimento da variabilidade existente nas características físico-químicas dos frutos das populações naturais de macaúba é fundamental para a condução do melhoramento genético da palmeira.

A análise da contribuição relativa das variáveis, baseada na estatística de Singh (1981), permite avaliar em termos percentuais, a importância dos descritores em relação a diversidade existente entre os materiais genéticos. De acordo com Cruz; Ferreira; Pessoni (2020), por meio das distâncias generalizadas de Mahalanobis, é possível quantificar a contribuição relativa dos caracteres para a diversidade genética. Já a análise multivariada com base em variáveis canônicas tem sido utilizada para identificação de redundâncias e redução mínima de descritores morfológicos. A identificação de descritores que pouco contribuem para a diferenciação de materiais genéticos torna possível em estudos futuros, a eliminação de caracteres redundantes que podem estar sendo representados por outras variáveis, e, utiliza para isto técnicas de descarte que possibilitam redução nos trabalhos de coleta e otimização da análise de dados (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). Além de realizar estudos da diversidade genética, ela também avalia a importância de cada caractere sobre a variação total disponível entre os acessos avaliados. Portanto, o descarte de variáveis que menos contribuíram para a discriminação de acessos avaliados otimiza e acelera as etapas de um programa de melhoramento vegetal.

Pelo exposto acima, o presente estudo objetivou caracterizar e avaliar as informações fenotípicas referentes aos descritores morfoagronômicos vegetativos e produtivos, quanto a variabilidade, os parâmetros genéticos estimados e as correlações entre características avaliadas, de modo a inferir sobre o potencial de melhoramento da macaúba. Ainda, identificou-se as características que mais contribuíram para discriminação dos acessos, apontando as possíveis redundâncias em caracteres de acessos genéticos de macaúba procedentes de Minas Gerais cultivados em coleção *ex-situ*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba) pertencente à Universidade Federal de Viçosa, registro nº 084/2013 - SECEX / CGEN, localizado na Unidade da Estação Experimental de Araponga – MG (latitude 20° 40' 01"S; longitude 42° 31' 15"W, 1040 m altitude). Com precipitação média de 1.357 mm, o

clima na região é classificado como Cwb (Köppen-Geiger), caracterizado por verões chuvosos e invernos secos.

As avaliações realizadas foram em condições de campo e em laboratório de pós-colheita de frutos, tendo como objeto de estudo 36 acessos genéticos de macaúba (*Acrocomia aculeata*), famílias de meios-irmãos, procedentes de matrizes com origens geográficas nos municípios de Luz e Santa Luzia em Minas Gerais (Tabela 1).

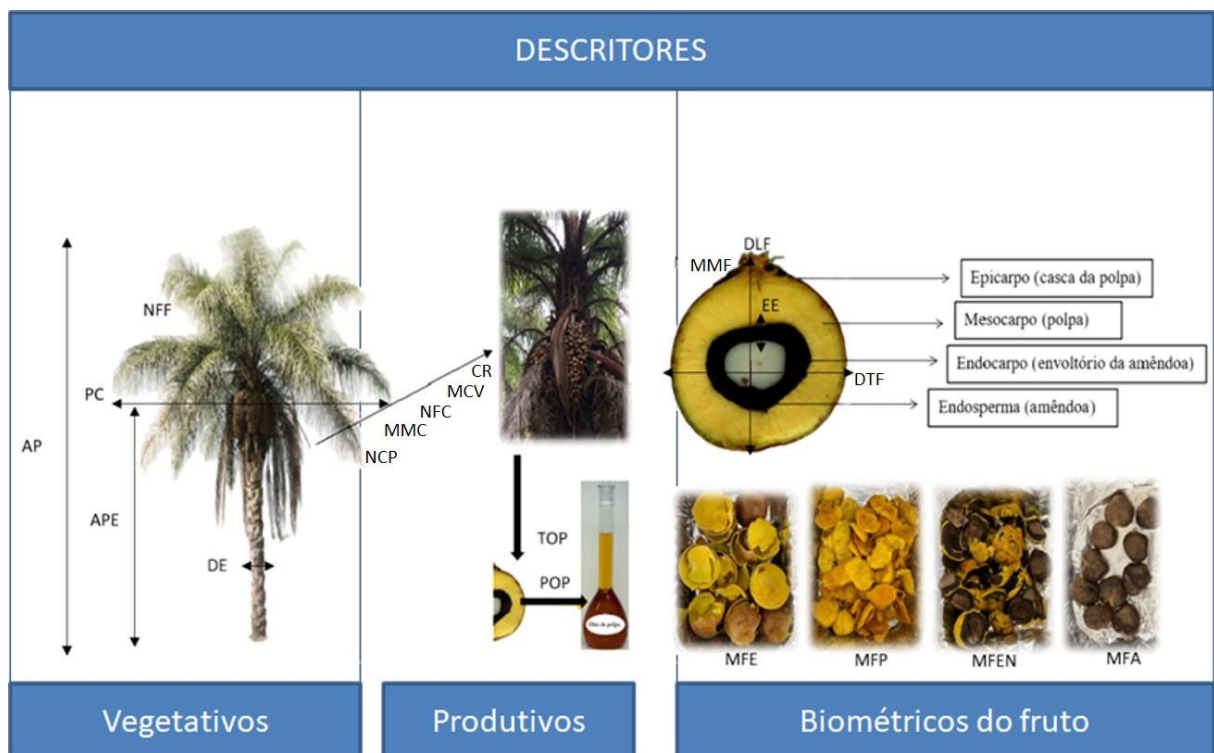
**Tabela 1-** Identificação dos 36 acessos genéticos da Gleba V presentes no BAG-Macaúba e as respectivas origens geográficas das matrizes que originaram os acessos utilizados no estudo.

Acesso	Código do BAG	Localidade Matriz	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	<b>BGP 150</b>	Santa Luzia - Região Metropolitana de BH	S 19° 41' 10.7"	W 43° 46' 29.1"	685.8
2	<b>BGP 151</b>		S 19° 41' 10.7"	W 43° 46' 29.0"	687.2
3	<b>BGP 152</b>		S 19° 41' 8.8"	W 43° 46' 25.9"	683.9
4	<b>BGP 154</b>		S 19° 41' 7.9"	W 43° 45' 55.2"	726.6
5	<b>BGP 156</b>		S 19° 41' 7.2"	W 43° 45' 55.2"	716.8
6	<b>BGP 157</b>		S 19° 41' 0.7"	W 43° 45' 58.0"	702.6
7	<b>BGP 158</b>		S 19° 41' 1.9"	W 43° 46' 59.3"	701.2
8	<b>BGP 159</b>		S 19° 44' 10.7"	W 43° 47' 13.8"	719.7
9	<b>BGP 160</b>		S 19° 44' 12.7"	W 43° 47' 15.7"	731.7
10	<b>BGP 169</b>		S 19° 41' 25.8"	W 43° 46' 13.4"	687.5
11	<b>BGP 172</b>		S 19° 41' 30.2"	W 43° 46' 14.4"	693.5
12	<b>BGP 180</b>		S 19° 41' 3.1"	W 43° 46' 25.3"	718.9
13	<b>BGP 184</b>		S 19° 40' 22.9"	W 43° 44' 53.5"	841.8
14	<b>BGP 185</b>		S 19° 40' 21.7"	W 43° 44' 55.0"	853.8
15	<b>BGP 194</b>		S 19° 40' 18.5"	W 43° 44' 53.2"	884.8
16	<b>BGP 196</b>		S 19° 40' 16.9"	W 43° 44' 52.2"	895.6
17	<b>BGP 200</b>		S 19° 41' 11.2"	W 43° 46' 26.6"	686
18	<b>BGP 201</b>		S 19° 40' 14.9"	W 43° 44' 56.9"	891.3
19	<b>BGP 204</b>		S 19° 40' 14.8"	W 43° 44' 55.5"	897
20	<b>BGP 210</b>	Luz - Região Central de Minas	S 19° 47' 4.5"	W 45° 51' 12.1"	680
21	<b>BGP 212</b>		S 19° 46' 54.5"	W 45° 51' 11.2"	667.5
22	<b>BGP 214</b>		S 19° 47' 6.2"	W 45° 51' 15.3"	676.6
23	<b>BGP 215</b>		S 19° 47' 3.6"	W 45° 51' 14.4"	680
24	<b>BGP 216</b>		S 19° 46' 48.5"	W 45° 50' 52.8"	689.9
25	<b>BGP 218</b>		S 19° 46' 45.7"	W 45° 50' 57.3"	678.8
26	<b>BGP 219</b>		S 19° 46' 48.7"	W 45° 50' 59.2"	682.9
27	<b>BGP 222</b>		S 19° 46' 49.1"	W 45° 51' 0.1"	693.2
28	<b>BGP 224</b>		S 19° 46' 50.9"	W 45° 51' 3.7"	679.3
29	<b>BGP 227</b>		S 19° 47' 40.6"	W 45° 52' 11.4"	661
30	<b>BGP 228</b>		S 19° 47' 39.1"	W 45° 52' 10.9"	662.2
31	<b>BGP 229</b>		S 19° 47' 41.5"	W 45° 52' 8.4"	656.5
32	<b>BGP 235</b>		S 19° 47' 42.3"	W 45° 52' 8.9"	656.2
33	<b>BGP 237</b>		S 19° 47' 46.6"	W 45° 52' 6.9"	658.1
34	<b>BGP 240</b>		S 19° 47' 52.9"	W 45° 52' 12.0"	657.4
35	<b>BGP 241</b>		S 19° 47' 50.0"	W 45° 52' 12.6"	660.8
36	<b>BGP 248</b>		S 19° 46' 52.6"	W 45° 51' 2.6"	686.7

Estes materiais foram introduzidos na Gleba V do BAG-Macaúba em 2012 e no período da coleta de dados encontravam-se em seus primeiros anos de produção. Esses acessos foram escolhidos visualmente em suas regiões de origem para compor o banco de germoplasma, principalmente por serem plantas altamente produtivas com elevado número de frutos. Assim, os frutos foram selecionados e posteriormente suas sementes geraram mudas transferidas para o campo. O manejo e a manutenção das plantas no campo foram realizados conforme as necessidades e recomendações da cultura, recebendo os devidos tratamentos culturais com podas, capinas, controle de doenças, bem como, recomendações de calagem e adubação, de acordo com Pimentel et al. (2011).

## 2.1. Descritores Morfoagronômicos avaliados

Os acessos foram avaliados quanto aos caracteres fenotípicos: vegetativos, produtivos e biométricos de frutos como apresentado na Figura 1.



**Figura 1-** Representação ilustrativa dos descritores morfoagronômicos em *Acrocomia aculeata*. AP: altura de planta; DE: diâmetro de estipe; PC: projeção da copa; APE: altura da primeira espata; NFF: número de folhas fotossintetizantes; NCP: número de cachos produtivos; MMC: massa média do cacho; NFC: número de frutos por cacho; MCV: massa de cacho vazio; CR: comprimento de ráquis; TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; MFF: massa fresca média do fruto; DTF: diâmetro médio transversal do fruto; DLF: diâmetro longitudinal de fruto; EE: espessura do endocarpo; MPE: massa fresca de epicarpo; MFP: massa fresca da polpa; MFEN: massa fresca de endocarpo; MFA: massa fresca da amêndoa. Fonte da ilustração da palmeira/planta: DÍAZ et al. (2021) e do corte longitudinal do fruto: PIRES et al. (2013).

### 2.1.1. Características Vegetativas

As características vegetativas avaliadas foram sobre a altura de planta (AP, m), diâmetro do estipe (DE, cm), projeção da copa (PC, m), número de espatas totais (NET), altura da primeira espata emitida (APE, m), número de folhas totais (NFT), número de folhas fotossintetizantes (NFF), precocidade (PREC) e início de fase produtiva (IFP). Para a avaliação da AP foi adotado como medida, da distância do ápice da folha mais jovem (flecha) até a base da planta ao solo utilizando-se uma fita métrica acoplada a uma haste de bambu. Para o DE foi utilizada uma suta dendrométrica manual para as medições em posições opostas no estipe e a um metro acima da superfície do solo, posteriormente foi calculado um diâmetro médio para esta variável. A PC foi obtida por meio de uma projeção média entre medidas de distâncias longitudinais e transversais (diâmetro da copa a partir dos extremos das folhas), utilizando-se uma trena. O NET foi contabilizado no final do florescimento das plantas referente à safra 2019/2020. A APE foi medida a distância da base da planta ao solo até a primeira espata emitida pela planta. Foi realizada a contagem das folhas totais incluindo as verdes e secas presentes nas plantas e somente aquelas folhas verdes fotossintetizantes e não secas. A PREC representou o número de safras produtivas da planta até a safra 2019/2020 e para o IFP considerou-se a idade em meses após o plantio até o momento da primeira produção.

### 2.1.2. Características Produtivas

Considerou-se para avaliação as seguintes características produtivas: o número de cachos produtivos por planta (NCP), a massa média do cacho (MMC, kg), o número de frutos por cacho (NFC), o número total de frutos por planta (NTF), a massa total dos frutos por planta (MTF, kg), a massa média do cacho vazio (MCV, kg), o comprimento da ráquis (CR, cm), a largura da ráquis (LR, cm), o teor de óleo da polpa (TOP, %) e a produção de óleo por planta (POP, Kg). Os cachos foram colhidos assim que apresentaram indicativo do ponto de colheita, ou seja, quando acontecia a abscisão natural dos primeiros frutos maduros, cortando-se a ráquis rente ao estipe, e os frutos derrilhados manualmente. Todas as características produtivas foram referentes à safra 2019/2020.

Para o NCP foi realizada a contagem do número de cachos frutíferos totais por planta. A MMC refere-se a massa total dos frutos derrichados somada à massa das ráquis pelo total de cachos na planta. O NFC foi uma média do número de frutos totais pelo total de cachos na planta. O NTF foi referente à contagem dos frutos totais por planta. A variável MTF refere-se à massa em quilogramas do total de frutos. A MCV consistiu no valor da massa média das ráquis produzidas pela planta, as ráquis foram pesadas junto às ráquias sem os frutos (cacho vazio), com auxílio de uma balança digital portátil. O CR e LR obtidos com auxílio de uma fita métrica, tomando-se o critério de medida de comprimento da ráquis a partir dos dez centímetros acima da inserção da primeira ráquila até a extremidade da última ráquila e a largura da parte mediana da ráquis de uma extremidade a outra, respectivamente.

O TOP foi quantificado utilizando-se a polpa de frutos maduros, a qual foi retirada manualmente e seca em estufa com circulação e renovação de ar a uma temperatura de 65°C por 48 horas. Após secagem, as amostras foram trituradas, homogeneizadas e dispostas em triplicadas de 1 g cada para realização do método adaptado 032/IV de extração direta em “Soxhlet”, usando o *n-hexano* como solvente orgânico, metodologia estabelecida pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). Para tanto, o material vegetal foi acondicionado em cartuchos de papel filtro analítico que foram secos e pesados (P) anteriormente em balança de precisão. Os cartuchos contendo as amostras foram secos em estufa a 65°C por 24 horas para eliminar possíveis umidades absorvidas pelo papel e polpa após trituração e pesagens. Após a secagem, os cartuchos contendo as amostras foram pesados (P1) e imediatamente colocados no extrator de óleos e graxas Soxhlet padrão (modelo MA 044/850/ MARCONI), onde foram extraídos por meio do cozimento e lavagem das amostras no solvente hexano a 80° C por três horas e a 110° C por 2 horas, respectivamente. Após a extração as amostras foram resfriadas naturalmente em temperatura ambiente e secas em estufas de circulação de ar forçado a 65° C por 8h. Os cartuchos com as amostras secas foram pesados novamente (P2) para o cálculo do teor de óleo em porcentagem a partir da diferença entre a massa da amostra inicial e a massa final após a extração calculado pela expressão:

$$TO (\%) = \frac{P1-P2}{P1-P} \times 100, \text{ onde:}$$

TO (%): teor de óleo em porcentagem;

P: peso do cartucho;

P1: peso do cartucho contendo a amostra antes da extração do óleo;

P2: peso do cartucho contendo a amostra após a extração do óleo.

Para a obtenção da POP, foi calculado por meio do produto: (número de frutos totais da planta) x (massa seca da polpa) x (teor de óleo), conforme descrito por Costa et al. (2018).

### 2.1.3. Biometria dos frutos

Após a caracterização produtiva, os frutos destacados foram separados aleatoriamente e armazenados em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$  para conservação e posterior análises dos mesmos. As análises dos frutos foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita da Macaúba localizado no setor de fruticultura da UFV.

As características biométricas foram avaliadas em quatro frutos por planta (MANFIO et al., 2011). Foram mensurados separadamente cada fruto e suas partes constituintes: a massa fresca média do fruto (MFF, g), o diâmetro médio transversal do fruto (DTF, mm), o diâmetro médio longitudinal do fruto (DLF, mm), o volume do fruto (VF, ml), a espessura do endocarpo (EE, mm), o índice de massa processável (IMP), a massa fresca do epicarpo (MFEP, g), a massa fresca da polpa (MFP, g), a massa fresca do endocarpo (MFEN, g), a massa fresca da amêndoa (MFA, g), a massa seca do epicarpo (MSEP, g), a massa seca da polpa (MSP, g), a massa seca do endocarpo (MSEN, g) e a massa seca da amêndoa (MSA, g).

Todas as avaliações de massa fresca e seca dos frutos e seus constituintes foram obtidos em balança analítica Shimadzu modelo AUY 220. A massa seca dos constituintes dos frutos foi mensurada após a secagem da massa fresca em estufa com circulação de ar a  $65^{\circ}\text{C}$  até obter peso constante. O DTF e DLF foram obtidos com auxílio de paquímetro digital de 0.01 mm de precisão. O VF foi mensurado por meio do deslocamento da coluna d'água contida em uma proveta graduada e após a adição dos frutos foi obtido o volume pela diferença do volume final pelo inicial. A EE foi medida com o paquímetro digital em duas porções aleatórias do endocarpo fragmentado, obtendo-se a média. O IMP foi calculado conforme Manfio et al. (2011), obtido pela expressão= diâmetro equatorial do fruto - 2x espessura do endocarpo.

## 2.2. Análises genéticas e estatísticas

Os acessos foram dispostos no campo em delineamento em blocos casualizados com duas repetições e a unidade experimental composta por 2 plantas, segundo o modelo abaixo:

$$Y_{ij} = m + g_i + b_j + e_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$  é a observação referente ao tratamento  $i$  no bloco  $j$ ;

$m$  é a média geral (ou constante comum a todas as observações);

$g_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo genótipo, com  $i = 1, 2, \dots, I$ ;

$b_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo bloco, com  $j = 1, 2, \dots, J$ ;

$e_{ij}$  é o erro experimental, admitindo-se que  $e_{ij} \sim \text{NID}(0; \sigma^2)$ .

Os dados foram submetidos à análise de variância com base nas avaliações dos diferentes acessos, a fim de se verificar a existência de variabilidade genética entre eles, bem como, as estimativas dos parâmetros genéticos associados aos efeitos genético e residual. Foram realizadas correlações entre os valores fenotípicos através da análise multivariada entre pares de caracteres por meio da correlação de Pearson. Utilizou-se para a diferenciação das grandezas das correlações, a classificação proposta por Shimakura e Ribeiro Junior (2006), representada como muito fraca (0.00 - 0.19), fraca (0.20 – 0.39), moderada (0.40 – 0.69), forte (0.70 – 0.89) e muito forte (0.90 – 1.00). Adicionalmente, foi realizada a rede de correlações de Pearson para verificar a relação entre as variáveis vegetativas, produtivas e biométricas de frutos e identificar se as mesmas possuem algum grau de correspondência entre si.

A contribuição relativa dos caracteres para a diversidade entre os acessos foi estudada por meio do método de Singh (1981), utilizando-se a análise multivariada baseada na distância generalizada de Mahalanobis como medida de dissimilaridade. Complementarmente foi realizada a análise multivariada das técnicas de variáveis canônicas por meio das estimativas de autovalores e dos autovetores ponderados, e para isto, utilizou-se o critério da importância de caracteres e do descarte pela redundância. Esta técnica permite a simplificação estrutural no conjunto de dados, resumindo informações referentes a um grupo de variáveis, em poucas variáveis, que serão capazes de reterem o máximo da variação disponível e serem independentes entre si (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

Para as análises estatísticas realizadas utilizou-se o software Genes (CRUZ, 2016).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Caracterização e Parâmetros Genéticos**

Dentre os 33 descritores morfoagronômicos considerados para o estudo, 26 características obtiveram diferenças significativas ( $p < 0.05$ ), revelando-se de grande

importância para o programa de melhoramento da macaúba. Os quadrados médios obtidos da análise de variância para os 26 descritores, são apresentados na Tabela 2. As significâncias foram observadas entre as médias dos acessos de macaúba para os caracteres avaliados, o que evidencia presença considerável de variabilidade genética entre eles e que os descritores utilizados para o estudo foram importantes no processo de discriminação. A variabilidade genética expressa as diferenças entre indivíduos de uma mesma espécie e é indispensável para a obtenção de ganhos genéticos direcionando suas técnicas para o desenvolvimento de materiais superiores (CRUZ, 2012).

**Tabela 2** - Resumo da Análise de Variância para as características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos dos 36 acessos de *Acrocomia aculeata* estudados e pertencentes ao BAG-Macaúba.

<b>Características Vegetativas</b>	<b>QMA</b>	<b>QMR</b>	<b>F</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>Média</b>	<b>CV%</b>
Diâmetro de estipe (DE)	32.87	4.49	7.32**	28.00	49.00	37.66	5.63
Projeção da copa (PC)	0.71	0.09	8.30**	4.38	7.13	5.58	5.25
Altura da primeira espata (APE)	0.98	0.45	2.15*	1.20	5.90	2.51	26.88
Número de folhas fotossintetizantes (NFF)	11.53	6.08	1.90*	15.00	34.00	22.05	11.18
Precocidade (PREC)	0.39	0.19	1.99*	0.76	3.24	1.82	24.15
Início da fase produtiva (IFP)	66.39	35.39	1.87*	60.94	93.06	78.62	7.57
<b>Características Produtivas</b>	<b>QMA</b>	<b>QMR</b>	<b>F</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>Média</b>	<b>CV%</b>
Massa média do cacho (MMC)	15.56	7.89	1.97*	1.00	16.11	6.49	43.29
Número de frutos por cacho (NFC)	9283.51	3659.68	2.53**	9.00	404.60	126.08	47.98
Massa de cacho vazio (MCV)	0.19	0.10	1.95*	0.50	2.14	1.14	27.55
Comprimento da ráquis (CR)	265.15	109.75	2.41**	77.00	130.36	103.98	10.07
Teor de óleo da polpa (TOP)	187.42	54.21	3.46**	12.92	72.61	49.72	14.81
Produção de óleo por planta (POP)	14.49	6.88	2.11*	0.03	11.72	4.11	63.73
<b>Características Biométricas do Fruto</b>	<b>QMA</b>	<b>QMR</b>	<b>F</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>Média</b>	<b>CV%</b>
Massa fresca do fruto (MFF)	277.36	31.94	8.68**	24.22	83.75	49.40	11.44
Diâmetro transversal do fruto (DTF)	20.26	2.67	7.59**	36.50	52.23	44.59	3.66
Diâmetro longitudinal do fruto (DLF)	31.74	2.81	11.31**	36.99	55.04	44.65	3.75
Volume do fruto (VF)	247.63	30.04	8.24**	26.00	80.00	47.58	11.52
Espessura média do endocarpo (EE)	0.30	0.09	3.45**	3.16	5.61	4.55	6.49
Índice de massa processável (IMP)	14.64	2.00	7.29**	30.17	42.01	35.49	3.99
Massa fresca do epicarpo (MFEP)	12.99	2.63	4.94**	6.11	18.76	10.12	16.02
Massa fresca da polpa (MFP)	102.09	10.69	9.55**	9.70	42.87	22.49	14.53
Massa fresca do endocarpo (MFEN)	6.00	1.29	4.67**	5.45	16.25	10.77	10.53
Massa fresca da amêndoa (MFA)	0.38	0.20	1.94*	1.51	4.49	2.63	16.81
Massa seca do epicarpo (MSEP)	4.21	0.62	6.85**	3.65	11.75	6.02	13.04
Massa seca da polpa (MSP)	26.37	4.09	6.45**	3.91	21.38	10.69	18.91
Massa seca do endocarpo (MSEN)	3.62	0.82	4.41**	4.60	12.88	8.88	10.21
Massa seca da amêndoa (MSA)	0.22	0.11	2.08*	1.24	3.47	2.08	15.79

QMA: quadrado médio dos acessos; QMR: quadrado médio do resíduo; F:QMA/QMR; Mín: mínimo valor observado; Máx: máximo valor observado; Média: média geral; CV%: coeficiente de variação experimental. \*\*, \*: Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

As médias das variáveis vegetativas para os 36 acessos foram 37.66 cm para DE; 5.58 m para PC; 2.51 m para APE; 22.05 folhas para NFF; 1.82 safras produtivas para PREC e 78.62 meses para o IFP. Valores próximos foram verificados em acessos presentes no BAG-Macaúba provenientes de MG e SP, ao apresentarem médias de 39.81 cm para DE e 2.17 m para APE conforme Coser et al. (2016) e também a média de 24 folhas encontrado em estudos com palmeiras nativas de macaúba no norte de MG (NOBRE et al., 2015).

A característica vegetativa APE como descritora morfoagronômica é considerada importante pois indica a altura da espata floral em que se formará o primeiro cacho frutífero e se relaciona com a facilidade do manejo da palmeira no campo. A *Acrocomia aculeata* geralmente apresenta estatura elevada, podendo atingir de 15-20 m (COLOMBO et al., 2018; LORENZI et al., 2010; ROSADO et al., 2019), dificultando a colheita. No estudo foi possível encontrar APE mínima com 1.20 m, sendo interessante considerar este descritor em futuras seleções no melhoramento da espécie (Tabela 2 e Tabela suplementar 1). Em relação a PREC, encontrou-se plantas precoces, já em seu terceiro ano de produção (safra 2019/2020), diferente dos indivíduos que estavam iniciando sua primeira produção nesta mesma safra (Tabela 2 e Figura suplementar 1).

Em relação as variáveis produtivas foram observadas as seguintes médias: 6.490 kg para MMC; 126.08 frutos para NFC; 1.140 kg para MCV; 103.98 cm para CR; 49.72% para TOP e 4.110 kg para POP (Tabela 2). Nobre et al. (2015), avaliando palmeiras de macaúba no norte de MG, encontraram maiores médias de massa de cacho e número de frutos por cacho, de 13.92 kg e 284 frutos, respectivamente. Evaristo et al. (2017), avaliando o TOP em frutos de macaúba de diferentes regiões de MG, obtiveram 43.91% para o teor de óleo em plantas da Zona da Mata, valores inferiores aos verificados neste estudo. No entanto, Costa et al. (2018), encontraram valor médio de 56.17% para o TOP em acessos do BAG-Macaúba em MG, um pouco acima dos observados no presente trabalho. Em contrapartida, os autores obtiveram média de 1.11 kg de óleo por planta, valor esse bem abaixo dos 4.11 kg de óleo deste estudo.

Para a maioria das características produtivas houve grande amplitude de variação nos valores observados devido a desuniformidade na produção de frutos (Tabela 2), destacando-se os valores médios de MMC (1.00 kg a 16.11 kg) e NFC (9.00 a 404.60). De acordo com Borém; Miranda; Fritsche-Neto, (2017), além da diversidade existente das espécies, existe a variabilidade dentro de cada uma, seja de natureza genética e/ou ambiental. Além da influência genética, Coelho et al. (2019), concluíram que caracteres destinados a fins agrônômicos relacionados a produção de frutos da macaúba, são os mais correlacionados aos

fatores ambientais, indicando respostas imediatas a quaisquer mudanças advindas de fatores abióticos como temperatura, umidade do solo, polinização das inflorescências, entre outros.

Literaturas relatam que a palmeira macaúba apresenta grande variabilidade fenotípica, entre e dentro de acessos (DE LIMA; MEEROW; MANFRIN, 2020; LANES et al., 2015; VIANNA et al., 2017), e isso pode ser observado facilmente a campo, com a diferença notória no número de frutos por cacho existente mesmo dentro da mesma família (Tabela suplementar 2). O TOP (12.92% a 72.61%) e o POP (0.030 kg a 11.72 kg) também apresentaram elevada amplitude de variação (Tabela 2). A porcentagem encontrada na polpa mais oleosa refletiu cinco vezes a mais (72.61%) que a polpa da planta com o menor teor de óleo (12.92%). Foi observado também indivíduos que produziram próximo de 12 kg de óleo por planta, considerável valor para uma das principais características produtivas da macaúba (Tabela 2, Tabela suplementar 2 e Figura suplementar 2).

Os resultados apontaram valores elevados do coeficiente de variação experimental. Mesmo com todos os cuidados com a coleta e análise dos caracteres estudados, é passível que ocorra elevada variação, principalmente para aqueles relacionados à sua produção, provavelmente por serem caracteres de controle oligogênico ou poligênico, portanto, mais vulneráveis a sofrerem uma forte influência ambiental (ALLARD, 1971). Além disso, esses resultados podem ser explicados devido à grande variabilidade e divergência existente dentro das famílias, associada a capacidade e modalidade reprodutiva da macaúba e diferenças nas polinizações entre as inflorescências das plantas que se encontram em um Banco Ativo de Germoplasma. A macaúba possui um sistema de acasalamento misto (autofecundação e polinização cruzada) mas é predominantemente cruzado (LANES et al., 2016; SCARIOT; LLERAS; HAY, 1991). Possivelmente esta fecundação permite a ocorrência de um maior fluxo gênico contribuindo também para uma maior variabilidade morfoagronômica para estas características entre e dentro das famílias. Lanes et al. (2016), relatou sobre a pequena taxa de autofecundação entre as progênies de macaúba que poderiam indicar a depressão por endogamia e altas ocorrências de aborto precoce em seus frutos. Em estudos sobre possíveis causas do aborto de frutos em populações de *A. aculeata*, Simiqueli et al. (2018), confirmaram que as características produtivas, principalmente a massa e o número de frutos foram extremamente afetados pela depressão endogâmica, alegadamente responsável pelo aborto de frutos em populações da espécie.

As variáveis biométricas do fruto apresentaram médias de 49.40 g para MFF; 44.59 mm para DTF; 44.65 mm para DLF; 47.58 ml para VF; 4.55 mm para EE; 35.49 para IMP; 10.12 g para MFEP; 22.49 g para MFP; 10.77 g para MFEN; 2.63 g para MFA; 6.02 g para

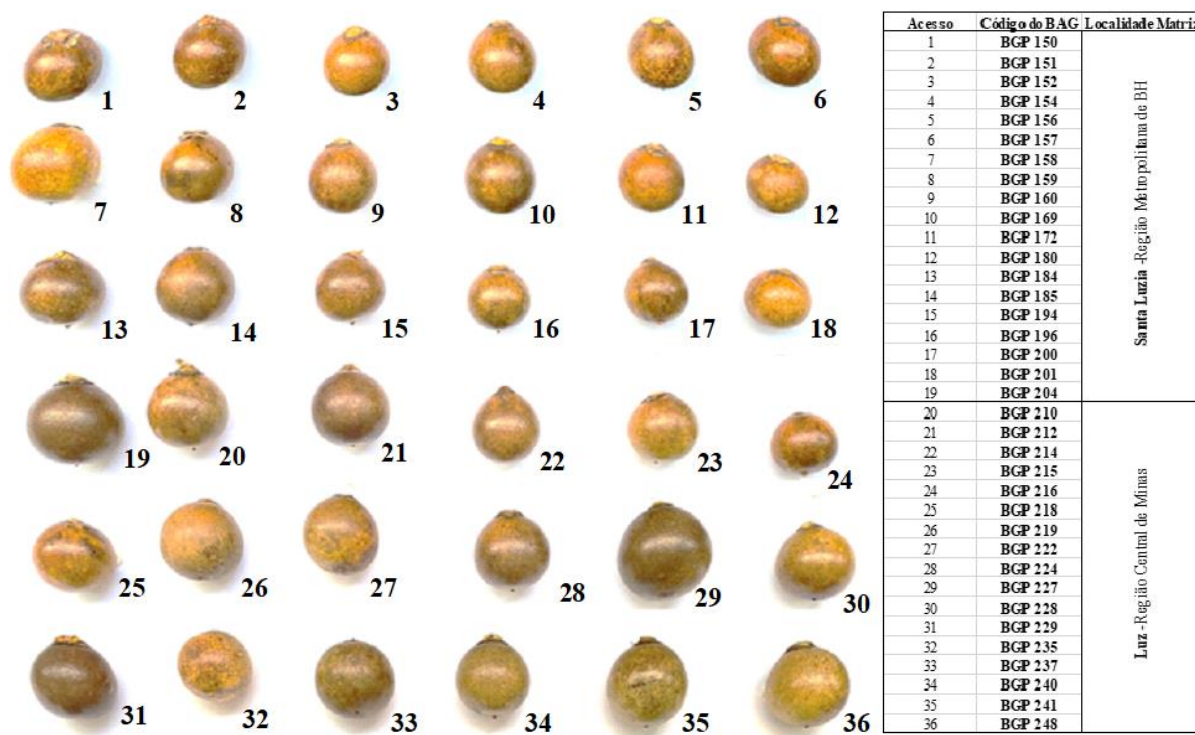
MSEP; 10.69 g para MSP; 8.88 g para MSEN e 2.08 g para MSA (Tabela 2). Valores próximos do presente estudo foram obtidos por Evaristo et al. (2017), com médias de 51.57 g para MFF, 45.82 mm para DTF e 47.70 ml para VF em frutos de macaúba procedentes da Zona da Mata Mineira.

Manfio et al. (2011) avaliando caracteres biométricos de frutos de macaúba encontraram 32.12 g para massa de fruto, 39.86 mm para diâmetro de fruto, 36.68 ml para volume do fruto, 4.74 mm para espessura de endocarpo e 1.69 g para massa de amêndoa, valores inferiores aos observados no presente trabalho com exceção do caractere espessura de endocarpo que foi maior. A espessura do endocarpo dos frutos, assim como a produção de óleo por planta, são caracteres que devem ser considerados em programas de melhoramento da macaúba. Frutos com endocarpo pouco espesso possibilita um volume maior do mesocarpo (mais espesso) e, portanto, mais rentável quanto a produção de óleo de polpa, além de facilitar o processamento do fruto e a aplicação do protocolo de germinação para a espécie. Assim, para este caractere em específico, é desejável identificar os indivíduos que apresentem valores mínimos de EE. No presente trabalho, obteve-se valor mínimo de 3.16 mm de EE, satisfatório quando se deseja maior aproveitamento do fruto em relação a sua massa processável (Tabela 2 e Tabela suplementar 3).

Foi observada média elevada para o IMP (35.49), com valor máximo de 42.01. O índice de massa processável é um índice estabelecido para determinar quantitativamente os componentes (polpa e amêndoa) processáveis do fruto (MANFIO et al., 2011), sendo desejável em programas de melhoramento, focados em maiores produtividades, frutos com maiores IMP. Confirmando a variabilidade e, portanto, a riqueza do BAG-Macaúba, COSTA et al. (2018) encontraram médias abaixo das observadas no presente estudo em 44 acessos da coleção ex-situ, incluindo 5.18 g para MSEP, 6.41 g para MSP, 7.63 g para MSEN e 1.59 g para MSA.

O coeficiente de variação (CV%) oscilou entre 3.66% a 18.91% para as características biométricas de frutos e demonstraram ser o grupo de descritores que apresentaram os menores coeficientes de variação do estudo. Semelhantemente, também foram encontrados valores baixos nos resultados de Manfio et al. (2011), não ultrapassando valores de 16.53% dentre os caracteres biométricos de frutos avaliados.

A variabilidade morfoagronômica dos 36 acessos do BAG-Macaúba expressada pelo fenótipo por meio dos descritores do fruto, além de verificada com base nas médias dos acessos e observada nos valores mínimos e máximos apresentados (Tabela 2) são confirmadas visualmente (Figura 2).



**Figura 2-** Variabilidade morfológica ilustrativa dos frutos dos 36 acessos de *Acrocomia aculeata* pertencentes a gleba V do BAG-Macaúba.

A partir dos dados fenotípicos observados é possível, por meio de delineamentos experimentais, estimar a variância genotípica, quesito essencial no melhoramento genético obtida por meio dos componentes de variância (CRUZ, 2012). A significância obtida pelo teste F (Tabela 2) é indicativa da existência de variância genética entre as médias dos acessos testados; em complemento, a Tabela 3 apresenta as estimativas dos parâmetros genéticos obtidos da análise de variância. Estes resultados confirmam a presença de variância genotípica, a 1% e a 5% de probabilidade para as características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos dos acessos estudados. As maiores variâncias genotípicas foram observadas em caracteres relacionados aos frutos como o NFC, MFF e VF. As estimativas de variância residual refletem a variância ambiental obtida entre as médias dos acessos. Os maiores valores para este parâmetro foram conferidos no grupo de variáveis relacionadas aos caracteres produtivos, corroborando com os resultados do coeficiente de variação residual para este mesmo grupo de variáveis, representado pelo CV% na Tabela 1, resultados estes já discutidos anteriormente. A variância fenotípica também apresentada no trabalho se trata do resultado do somatório da ação genotípica junto a influência do meio. Cruz (2012), definiu que as partes componentes da variância fenotípica são representadas pela variância genotípica e a variância devido aos desvios ocasionados pelo ambiente.

**Tabela 3** - Estimativas de parâmetros genéticos obtidos da análise dos 36 acessos de *Acrocomia aculeata* relacionados às variáveis vegetativas, produtivas e biométricas de frutos.

<b>Características Vegetativas</b>	<b>Vg</b>	<b>Ve</b>	<b>Vf</b>	<b>h<sup>2</sup></b>	<b>CVg(%)</b>	<b>CVr(%)</b>	<b>CVf(%)</b>	<b>M</b>
DE	14.19**	2.24	16.43	0.86	10.00	1.78	10.76	37.66
PC	0.31**	0.04	0.36	0.88	10.02	1.91	10.68	5.58
APE	0.26*	0.23	0.49	0.53	20.40	0.76	27.89	2.51
NFF	2.72*	3.04	5.76	0.47	7.48	0.67	10.88	22.05
PREC	0.09*	0.09	0.19	0.49	17.07	0.71	23.95	1.82
IFP	15.50*	17.69	33.20	0.46	5.01	0.66	7.33	78.62
<b>Características Produtivas</b>	<b>Vg</b>	<b>Ve</b>	<b>Vf</b>	<b>h<sup>2</sup></b>	<b>CVg(%)</b>	<b>CVr(%)</b>	<b>CVf(%)</b>	<b>M</b>
MMC	3.83*	3.95	7.78	0.49	30.17	0.70	42.98	6.49
NFC	2811.91**	1829.84	4641.75	0.60	42.06	0.88	54.04	126.08
MCV	0.05*	0.05	0.10	0.49	19.05	0.69	27.18	1.14
CR	77.70**	54.87	132.58	0.58	8.48	0.84	11.07	103.98
TOP	66.61**	27.10	93.71	0.71	16.41	1.11	19.47	49.72
POP	3.81*	3.44	7.25	0.52	47.44	0.74	65.51	4.11
<b>Características Biométricas do Fruto</b>	<b>Vg</b>	<b>Ve</b>	<b>Vf</b>	<b>h<sup>2</sup></b>	<b>CVg(%)</b>	<b>CVr(%)</b>	<b>CVf(%)</b>	<b>M</b>
MFF	122.71**	15.97	138.68	0.88	22.42	1.96	23.84	49.40
DTF	8.79**	1.33	10.13	0.86	6.65	1.81	7.14	44.59
DLF	14.47**	1.40	15.87	0.91	8.52	2.27	8.92	44.65
VF	108.79**	15.02	123.81	0.87	21.92	1.90	23.39	47.58
EE	0.11**	0.04	0.15	0.70	7.18	1.11	8.51	4.55
IMP	6.32**	1.00	7.32	0.86	7.08	1.77	7.62	35.49
MFEP	5.18**	1.31	6.50	0.79	22.50	1.40	25.19	10.12
MFP	45.70**	5.34	51.05	0.89	30.05	2.07	31.77	22.49
MFEN	2.36**	0.64	3.00	0.78	14.26	1.35	16.08	10.77
MFA	0.09*	0.09	0.19	0.48	11.54	0.69	16.57	2.63
MSEP	1.80**	0.31	2.11	0.85	22.30	1.71	24.13	6.02
MSP	11.14**	2.04	13.18	0.84	31.22	1.65	33.96	10.69
MSEN	1.40**	0.41	1.81	0.77	13.33	1.31	15.15	8.88
MSA	0.06*	0.05	0.11	0.52	11.60	0.73	15.95	2.08

DE: diâmetro de estipe; PC: projeção da copa; APE: altura da primeira espata; NFF: número de folhas fotossintetizantes; PREC: precocidade; IFP: início da fase produtiva; MMC: massa média do cacho; NFC: número de frutos por cacho; MCV: massa média do cacho vazio; CR: comprimento da ráquis; TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; MFF: massa fresca média do fruto; DTF: diâmetro médio transversal do fruto; DLF: diâmetro médio longitudinal do fruto; VF: volume do fruto; EE: espessura média do endocarpo; IMP: índice de massa processável; MFEP: massa fresca do epicarpo; MFP: massa fresca da polpa; MFEN: massa fresca do endocarpo; MFA: massa fresca da amêndoa; MSEP: massa seca do epicarpo; MSP: massa seca da polpa; MSEN: massa seca do endocarpo; MSA: massa seca da amêndoa; Vg: variância genotípica entre acessos; Ve: variância residual; Vf: variância fenotípica entre acessos; h<sup>2</sup>: herdabilidade em nível de média dos acessos; CVg(%): coeficiente de variação genotípica; CVf(%): coeficiente de variação fenotípica; CVr(%) = CVg/CVe = coeficiente de variação relativa; M: média geral. \*\*, \*: Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

A herdabilidade é uma medida da proporção da variância fenotípica atribuída à variância genética e constitui-se como um importante preditor do grau em que uma população pode responder a ganhos com o processo da seleção (BYERS, 2008; CRUZ; CARNEIRO; BHERING, 2021; OLIVEIRA et al., 2018). De acordo com Resende (2002), a classificação dos valores de herdabilidade são: baixa (0-0.15); moderada (0.15-0.50); alta (0.50-0.80) e muito alta (0.80-1). No presente estudo as herdabilidades variaram de 0.46 a 0.91 entre todos os caracteres avaliados, ou seja, são considerados de magnitude moderada a muito alta, com 76% das características classificadas como herdabilidades alta e muito alta, principalmente quando se refere aos caracteres biométricos de frutos (Tabela 3). Rosado et al. (2019), também encontraram herdabilidade de alta magnitude para caracteres vegetativos e produtivos em progênies de macaúba, com boas perspectivas para a seleção de genótipos de bom desempenho.

Esses valores elevados de herdabilidade são importantes, pois caracterizam forte controle genético das características, podendo ser transferidas com sucesso para as futuras gerações e adicionalmente conferem menor influência ambiental em relação a esses caracteres estudados. Estudo dentro desses caracteres de alta herdabilidade possibilitará maiores avanços no melhoramento genético da macaúba principalmente quando se deseja selecionar acessos que proporcionem maiores ganhos.

Em ordem decrescente as características POP (47.44%), NFC (42.06%), MSP (31.22%), MMC (30.17%) e MFP (30.05%), apresentaram os maiores coeficientes de variação genotípica (Tabela 3). Estes resultados indicam elevada quantificação da variação genética presente entre os acessos, demonstrando grande potencial para estudos da diversidade genética na discriminação dos materiais estudados. De acordo com Manfio et al. (2012), para a macaúba, é interessante que ao iniciar o programa de melhoramento, a seleção de populações a serem estudadas priorize caracteres relacionados diretamente ao principal produto de interesse da espécie, o óleo. Valores próximos aos encontrados no presente estudo foram constatados por COSTA et al. (2018) e ROSADO et al. (2019) com  $CVg(\%)$  de 44.55% e 53.27% para produção de óleo por planta e produção de frutos, respectivamente.

As estimativas dos coeficientes de variação relativa ( $CVr$ ) para os 36 acessos do estudo variaram de 0.66% para a característica IFP a 1.91% para PC; de 0.69% para a característica MCV a 1.11% para TOP; e de 0.69% para a característica MFA a 2.27% para DLF, relacionadas as características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos, respectivamente. Essas estimativas de  $CVr$  indicam a relação entre o coeficiente de variação genotípico e o coeficiente de variação residual e é estimado por  $CVr=CVg/CVe$ . De acordo

com Resende; Alves (2020), uma medida capaz de inferir sobre a precisão e exatidão na avaliação genotípica é a magnitude CV<sub>r</sub>; considerando fixo o número de repetições ou indivíduos, a  $CV_r > 1$  indica alta precisão. Houve maiores valores de CV<sub>r</sub> dentre os caracteres biométricos de frutos, estes resultados revelam o maior peso da variância genotípica em relação a ambiental, ou seja, uma menor influência do ambiente, portanto, para o programa de melhoramento genético são indícios de maiores chances de ganho com a seleção dos acessos nesse grupo de variáveis.

Segundo Byers (2008), as diferenças fenotípicas entre os indivíduos de uma população são devidas aos efeitos genéticos e ambientais existente entre eles. No presente estudo o coeficiente de variação fenotípica da característica produção de óleo por planta (POP), foi a maior dentre todas as variáveis estudadas (65.51%), em seguida o número de frutos por cacho (NFC 54.04%) e a massa média de cachos (MMC 42.98%), esses resultados expressam as grandes diferenças encontradas em kg de óleo produzido, nas quantidades de frutos e pesos de cachos entre os 36 acessos mineiros de *A. aculeata* (Tabela 3 e Tabela suplementar 2).

### 3.2. Correlação Fenotípica

As correlações fenotípicas entre as variáveis vegetativas, produtivas e biométricas de frutos estão apresentadas na Tabela 4. Segundo Meira et al. (2019), a correlação fenotípica envolve os efeitos genéticos e ambientais sendo que a magnitude e o sentido das correlações são os indicativos do grau de associação entre as variáveis e se há mudanças de comportamento de uma característica em função de outra.

A correlação de Pearson com teste t a 1% e a 5% de significância apresentou resultados de maiores associações dentro dos grupos de variáveis relacionados aos caracteres biométricos de frutos e dentro do grupo de variáveis dos caracteres produtivos. As correlações das variáveis produtivas MMC com NFC e POP; NFC com POP e das variáveis biométricas MFF com DTF, VF, EE, IMP, MFP e MSP; DTF com VF, EE, IMP, MFP e MSP; VF com IMP, MFP e MSP; IMP com MFP e MSP; MFP com MSP; e MFA com MSA, apresentaram correlações positivas consideradas de magnitude forte a muito forte ( $> 0.70$ ), de acordo com Shimakura e Ribeiro Junior (2006). A determinação das relações entre caracteres produtivos com diferentes descritores possibilita direcionar estratégias, como a antecipação dos resultados, que podem ser adotadas no programa de melhoramento, principalmente quando se trata de plantas perenes, como a palmeira macaúba (CICONINI et al., 2013; REIS et al., 2019).

O valor da correlação positiva de forte magnitude foi observado entre as variáveis DTF e VF (0.99), seguida das variáveis DTF e IMP, e entre as variáveis MFF e DTF, VF e MFP, todas com correlações positivas de 0.98. Estes resultados demonstram que os acessos de maior diâmetro transversal do fruto, também obtiveram os maiores valores de volume e também aqueles de maior área processável do fruto. Correlações moderadas positivas (0.42-0.68), também foram observadas entre os caracteres biométricos de frutos. Sobre as correlações entre massa de fruto e massa de polpa e amêndoa (0.98 e 0.63), estes, concordam com os resultados obtidos por Ciconini et al. (2013) em frutos de macaúba nativas de Corumbá/MS pertencente a região do Pantanal.

Para os caracteres vegetativos houve correlações de magnitude moderada entre DE e PC (0.62) e entre DE e APE (-0.65), corroborando com os resultados de Coser et al. (2016) que também verificaram correlações moderadas de 0.53 e -0.60 para as mesmas variáveis estudadas. Para o DE verificou-se correlações moderadas negativas com todas as variáveis biométricas de frutos a 1% de probabilidade pelo teste t, com exceção da variável MSP (-0.71), que para a classificação é considerada de magnitude forte. Este comportamento indica que plantas com maiores diâmetros de estipe tendem a produzir frutos com características biométricas reduzidas. Em contrapartida, a APE obteve correlação de magnitude moderada positiva com quase todas as variáveis biométricas de frutos, com exceção da massa fresca e seca da amêndoa. Esta correlação positiva indica que a característica pode influenciar favoravelmente a outra, ou seja, quanto maior a APE, maior será a biometria de seus frutos.

Houve também correlações moderadas positivas entre a variável PREC com MMC (0.54), NFC (0.49) e POP (0.51), demonstrando que plantas mais produtivas se correlacionam moderadamente com aquelas plantas mais precoces. Quanto ao TOP, Reis et al. (2019), avaliando a correlação entre caracteres de macaúba, observou que o teor de óleo do fruto não correlacionou significativamente com o diâmetro do fruto, resultados similares aos encontrados no presente trabalho. Portanto, o tamanho do fruto não influenciará na maior porcentagem de óleo produzido entre os acessos avaliados.

As fortes correlações negativas entre PREC com IFP e DE com MSP indicam que com o aumento do valor de uma característica a outra simultaneamente diminui. Assim, de acordo com o presente estudo os acessos mais precoces, ou seja, aqueles com maior número de safras produtivas, por coerência, foram os mesmos com os menores valores para o início da fase produtiva. Igualmente para os acessos com maiores valores de massa seca da polpa foram os mesmos que apresentaram os menores diâmetros de estipe. Em geral, a análise de correlação indicou que houve plantas que ao apresentarem frutos maiores, ou seja, com maior massa

fresca, diâmetro e volume de fruto, também apresentaram maior índice de massa processável, maior massa fresca de polpa, maior massa seca de polpa e que, por correlação negativa apresentaram menor diâmetro de estipe.

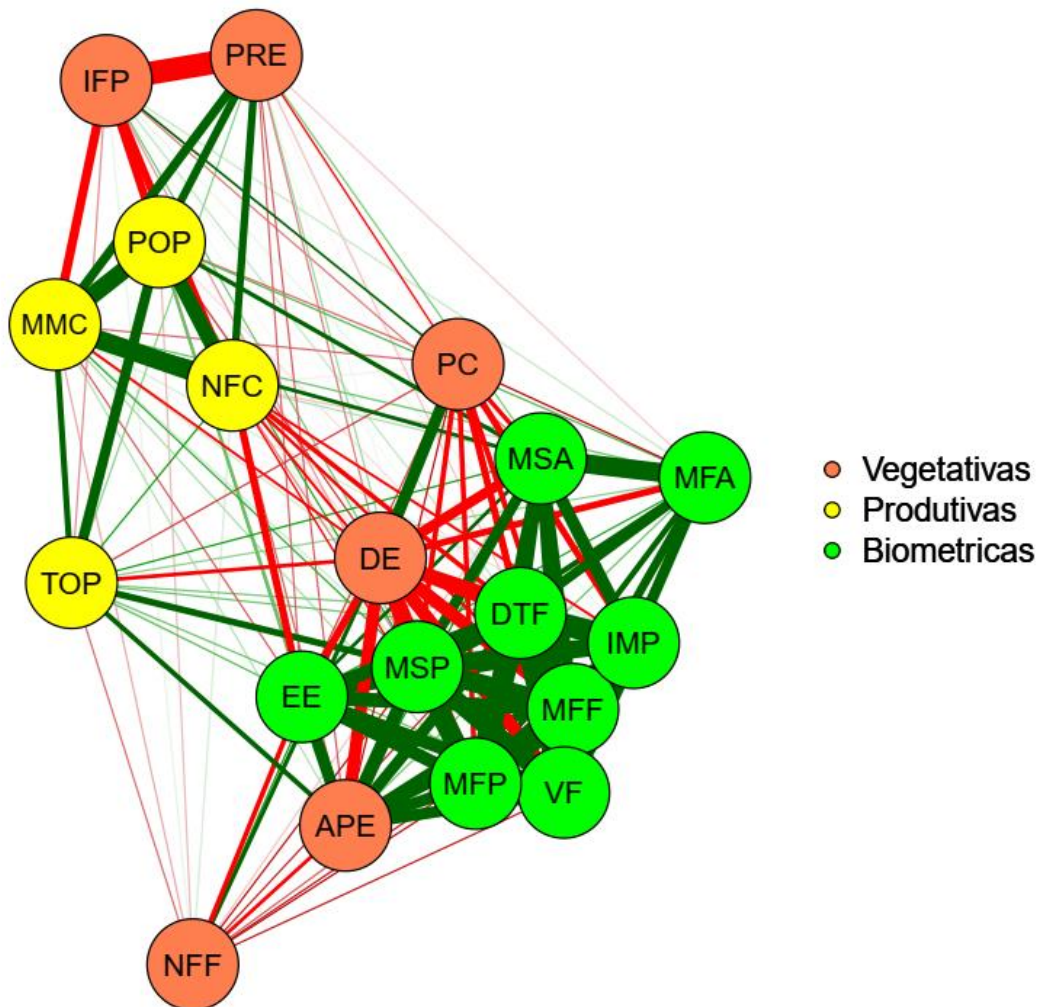
O estudo de correlações fenotípicas, além de inferir sobre o grau de associação existente entre elas, possibilita identificar ocorrência de possíveis réplicas ou redundâncias de caracteres, as quais poderão ser descartadas, otimizando assim futuros trabalhos de melhoramento da palmeira. Independentemente de cada grupo de descritores morfoagronômicos avaliados, as variáveis que não apresentaram correlação significativa ou de magnitudes consideradas fraca ou muito fraca, demonstram a independência entre elas (COSTA et al., 2018). Essas informações são importantes e devem ser consideradas em estudos de diversidade genética nas etapas seguintes do melhoramento.

**Tabela 4-** Correlação de Pearson entre variáveis vegetativas, produtivas, e biométricas de frutos observado em 36 acessos de *Acrocomia aculeata*.

	DE	PC	APE	NFF	PREC	IFP	MMC	NFC	TOP	POP	MFF	DTF	VF	EE	IMP	MFP	MFA	MSP	MSA
DE	1	0.62**	-0.65**	0.38*	-0.15	0.16	-0.33*	-0.04	-0.37*	-0.23	-0.67**	-0.65**	-0.67**	-0.50**	-0.62**	-0.65**	-0.47**	-0.71**	-0.58**
PC		1	-0.29	0.28	-0.30	0.32	-0.17	-0.02	-0.22	-0.17	-0.42**	-0.44**	-0.46**	-0.21	-0.46**	-0.41*	-0.30	-0.41*	-0.39*
APE			1	-0.36*	-0.19	0.19	0.08	-0.18	0.41*	0.06	0.61**	0.61**	0.62**	0.63**	0.54**	0.62**	0.17	0.69**	0.30
NFF				1	-0.01	0.03	-0.10	0.04	-0.17	-0.08	-0.27	-0.25	-0.27	-0.40*	-0.19	-0.29	-0.01	-0.28	-0.06
PREC					1	-0.99**	0.54**	0.49**	0.13	0.51**	-0.01	-0.07	-0.01	-0.18	-0.02	0.01	-0.06	0.11	0.15
IFP						1	-0.54**	-0.50**	-0.13	-0.51**	0.01	0.07	0.01	0.19	0.02	-0.01	0.06	-0.11	-0.15
MMC							1	0.86**	0.44**	0.81**	0.05	-0.01	0.05	-0.18	0.05	0.10	0.17	0.24	0.37*
NFC								1	0.27	0.73**	-0.35*	-0.40*	-0.33*	-0.49**	-0.33*	-0.30	-0.07	-0.14	0.09
TOP									1	0.58**	0.17	0.16	0.17	0.06	0.17	0.18	0.13	0.46**	0.28
POP										1	0.01	-0.04	0.01	-0.14	0.01	0.02	0.20	0.25	0.39*
MFF											1	0.98**	0.98**	0.70**	0.95**	0.98**	0.52**	0.89**	0.63**
DTF												1	0.99**	0.70**	0.98**	0.95**	0.56**	0.85**	0.64**
VF													1	0.68**	0.97**	0.96**	0.51**	0.85**	0.63**
EE														1	0.54**	0.67**	0.26	0.62**	0.36*
IMP															1	0.93**	0.58**	0.82**	0.65**
MFP																1	0.43**	0.91**	0.57**
MFA																	1	0.42*	0.87**
MSP																		1	0.59**
MSA																			1

DE: diâmetro de estipe; PC: projeção da copa; APE: altura da primeira espata; NFF: número de folhas ativas; PREC: precocidade; IFP: início da fase produtiva; MMC: massa média do cacho; NFC: número de frutos por cacho; TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; MFF: massa fresca média do fruto; DTF: diâmetro médio transversal do fruto; VF: volume do fruto; EE: espessura média do endocarpo; IMP: índice de massa processável; MFP: massa fresca da polpa; MFA: massa fresca da amêndoa; MSP: massa seca da polpa; MSA: massa seca da amêndoa. \*\* e \*: significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

A correlação de Pearson representada por uma rede de similaridade, com destaque para os diferentes grupos de variáveis confirma uma maior interação entre as características biométricas, indicada pela maior espessura das linhas (verde) de conexão (Figura 3). Em seguida, também foi observado uma considerável associação existente entre as características produtivas e poucas correlações negativas entre as características produtivas e biométricas, representada pela linha vermelha com diferentes intensidades. As variáveis NFF, PREC, IFP e TOP obtiveram baixa relação com as demais variáveis avaliadas. Em geral, houveram mais correlações ocorrendo entre as características vegetativas e biométricas, e poucas correlações entre produtivas e biométricas (Figura 3 e Tabela 4).



**Figura 3-** Rede de Similaridade baseada na Correlação de Pearson com teste t a 1 e 5% de probabilidade para as características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos de 36 acessos de *Acrocomia aculeata* pertencentes ao BAG-Macaúba. DE: diâmetro de estipe; PC: projeção da copa; APE: altura da primeira espata; NFF: número de folhas ativas; PREC: precocidade; IFP: início da fase produtiva; MMC: massa média do cacho; NFC: número de frutos por cacho; TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; MFF: massa fresca média do fruto; DTF: diâmetro médio transversal do fruto; VF: volume do fruto; EE: espessura média do endocarpo; IMP: índice de massa processável; MFP: massa fresca da polpa; MFA: massa fresca da amêndoa; MSP: massa seca da polpa; MSA: massa seca da amêndoa.

### 3.3. Importância Relativa das Variáveis - SINGH 1981

Para o estudo da importância das variáveis, foi realizada a análise da obtenção da matriz de dissimilaridade pela distância generalizada de Mahalanobis, considerando variância e covariância residual. Esta técnica multivariada da distância de Mahalanobis, permite quantificar a importância relativa das características avaliadas conforme sua diversidade genética, e utiliza para isso a avaliação da contribuição destas para os valores das distâncias estimadas baseadas na estatística de Singh (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

A partir da análise foi possível identificar a contribuição relativa dos caracteres para divergência proposta por Singh (1981) (Tabela 5). As variáveis vegetativas que mais contribuíram para 92.49% da divergência e, portanto, suficientes para explicar a diversidade entre os 36 acessos avaliados incluíram a PREC (47.69%), a PC (26.75%) e o DE (18.05%).

As variáveis que menos contribuíram para a discriminação dos acessos foram NFF (3.57%) e APE (3.94%), sendo que para IFP não houve contribuição relativa da variável. Desta forma essas variáveis podem ser desconsideradas em estudos futuros. No entanto, a APE é uma variável importante quando se deseja considerá-la futuramente em etapas de seleção no melhoramento da macaúba, pois refere-se à altura do primeiro cacho produtivo, importante no quesito facilidade no manejo da cultura.

Em relação as variáveis produtivas, o TOP foi o caractere que mais contribuiu para a divergência, com 23.35% da contribuição total (Tabela 5). Da Conceição et al. (2015) encontraram resultados similares ao estudarem atributos da produção de frutos e óleo para diversidade de macaúba, e verificaram maior importância na variável porcentagem de óleo da polpa para a diferenciação entre os genótipos avaliados. A segunda variável mais importante no estudo foi o CR, contribuindo relativamente em 20.77% para a divergência dos acessos. Semelhantemente nos estudos de diversidade genética em progênies de macaúba avaliadas em Planaltina-DF, o CR surgiu como a segunda variável de maior contribuição relativa (19.65%) e alta herdabilidade (DOMICIANO et al., 2015). No presente trabalho, outros descritores também contribuíram: MCV com 16.53%, o NFC com 16.34% e o POP com 13.38%, que juntas com as demais variáveis importantes somam 90.37% da contribuição para a divergência entre os 36 acessos. A variável produtiva de menor contribuição relativa foi a MMC (9.63%) que pode ser melhor representada pelas demais variáveis de produção.

**Tabela 5-** Contribuição relativa das variáveis vegetativas, produtivas e biométricas dos frutos para a diversidade genética entre acessos de *Acrocomia aculeata*, baseada na estatística de Singh (1981), aplicada sobre a distância generalizada de Mahalanobis.

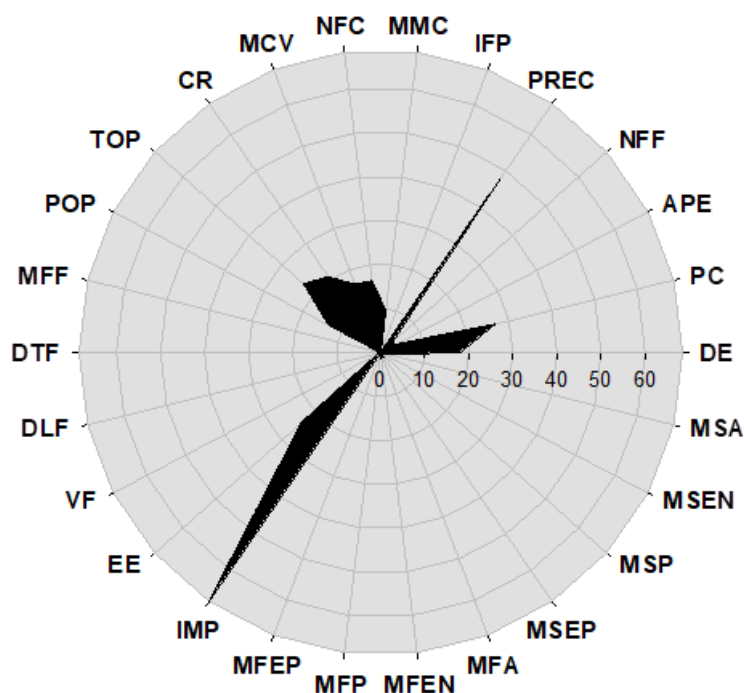
<b>Variáveis Vegetativas</b>	<b>S.j</b>	<b>Contribuição relativa (%)</b>
DE	5772.56	18.05
PC	8554.13	26.75
APE	1259.39	3.94
NFF	1141.82	3.57
PREC	15253.46	47.69
IFP	0.00	0.00
<b>Variáveis Produtivas</b>	<b>S.j</b>	<b>Contribuição relativa (%)</b>
MMC	1111.63	9.63
NFC	1885.56	16.34
MCV	1907.69	16.53
CR	2396.65	20.77
TOP	2694.49	23.35
POP	1544.50	13.38
<b>Variáveis Biométricas do Fruto</b>	<b>S.j</b>	<b>Contribuição relativa (%)</b>
MFF	3437.17	0.30
DTF	0.00	0.00
DLF	8546.37	0.74
VF	5400.29	0.47
EE	274283.24	23.86
IMP	787119.99	68.48
MFEP	0.00	0.00
MFP	6914.09	0.60
MFEN	12208.32	1.06
MFA	13786.17	1.20
MSEP	15184.72	1.32
MSP	3886.92	0.34
MSEN	0.00	0.00
MSA	18699.12	1.63

DE: diâmetro de estipe; PC: projeção da copa; APE: altura da primeira espata; NFF: número de folhas fotossintetizantes; PREC: precocidade; IFP: início da fase produtiva; MMC: massa média do cacho; NFC: número de frutos por cacho; MCV: massa média do cacho vazio, CR: comprimento da ráquis; TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; MFF: massa fresca média do fruto; DTF: diâmetro médio transversal do fruto; DLF: diâmetro médio longitudinal do fruto; VF: volume do fruto; EE: espessura média do endocarpo; IMP: índice de massa processável; MFEP: massa fresca do epicarpo; MFP: massa fresca da polpa; MFEN: massa fresca do endocarpo; MFA: massa fresca da amêndoa; MSEP: massa seca do epicarpo; MSP: massa seca da polpa; MSEN: massa seca do endocarpo; MSA: massa seca da amêndoa.

Os caracteres biométricos de frutos de menor importância que contribuíram de forma diminuta para a diversidade dos acessos foram MFF (0.30%), MSP (0.34%), VF (0.47%), MFP (0.60%), DLF (0.74%), MFEN (1.06%), MFA (1.20%), MSEP (1.32%) e MSA (1.63%). Para esse grupo de variáveis estudadas é importante destacar que três características (DTF, MFEP e MSEN) não contribuíram em nada para a divergência dos acessos avaliados e, portanto, devem ser desconsideradas em futuros estudos da diversidade. Apesar da massa de

amêndoa também ter uma baixa contribuição para o aumento da variabilidade entre os diferentes acessos de macaúba de Goiás, Reis et al. (2019), obtiveram maiores contribuições das variáveis diâmetro do fruto (26.89%) e massa fresca do fruto (19.91%), diferente dos resultados obtidos no presente estudo. O IMP foi a variável mais importante capaz de diferenciar os acessos com 68.48% da contribuição total. A segunda variável mais importante foi a EE que também contribuiu satisfatoriamente com 23.86%. Essas duas variáveis juntas somam 92.34% da contribuição total.

Em geral, as variáveis NFF, APE, MMC, MFF, MSP, VF, MFP, DLF, MFEN, MFA, MSEP e MSA não foram eficientes em discriminar os acessos, as quais podem ser representadas por outros caracteres dentro do seu grupo de variáveis. Contudo, os resultados indicam que as variáveis PREC, PC, DE, TOP, CR, MCV, NFC, POP, IMP e EE, são importantes (Figura 4) e capazes de identificar a variabilidade genética entre os 36 acessos mineiros existentes no BAG-Macaúba; portanto, devem ser consideradas como descritores morfoagronômicos eficientes para o estudo da diversidade.



**Figura 4** - Contribuição relativa das características vegetativas, produtivas e biométricas dos frutos avaliadas para divergência de acessos de *Acrocomia aculeata*, com base na estatística de Singh (1981). DE: diâmetro de estipe; PC: projeção da copa; APE: altura da primeira espata; NFF: número de folhas fotossintetizantes; PREC: precocidade; IFP: início da fase produtiva; MMC: massa média do cacho; NFC: número de frutos por cacho; MCV: massa média do cacho vazio, CR: comprimento da ráquis; TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; MFF: massa fresca média do fruto; DTF: diâmetro médio transversal do fruto; DLF: diâmetro médio longitudinal do fruto; VF: volume do fruto; EE: espessura média do endocarpo; IMP: índice de massa processável; MFEP: massa fresca do epicarpo; MFP: massa fresca da polpa; MFEN: massa fresca do endocarpo; MFA: massa fresca da amêndoa; MSEP: massa seca do epicarpo; MSP: massa seca da polpa; MSEN: massa seca do endocarpo e MSA: massa seca da amêndoa.

### 3.4. Redundâncias por Variáveis Canônicas

A análise multivariada de variáveis canônicas avalia o grau de similaridade entre os diferentes acessos e leva em consideração a influência das variâncias e covariâncias residuais sobre as estimativas dos coeficientes de cada caractere (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). A metodologia consiste em verificar se há nas primeiras variáveis canônicas a concentração de grande proporção da variância total, e que sejam capazes de reterem o máximo da variação existente. Isso permite a simplificação no conjunto de dados em poucas variáveis e que sejam independentes entre si. A partir da análise foi possível identificar as variáveis passíveis de descarte e a importância relativa dos caracteres de acordo com as estimativas dos autovalores e autovetores ponderados (Tabelas 6 e 7).

Considerando as características vegetativas, a análise de variáveis canônicas (VC) indicou uma maior contribuição dos caracteres IFP e PREC para as primeiras variáveis canônicas (VC1, VC2 e VC3), no entanto, apenas as duas últimas (VC2 e VC3) foram eficientes para a discriminação dos acessos. Para a variável canônica 1 (VC1), a característica de maior peso (4.93) foi a variável IFP (Tabela 6), ou seja, apresentou o maior coeficiente para a primeira variável canônica, e assim sucessivamente para as demais VCs. Cada variável canônica é uma combinação linear de caracteres, e os pesos atribuídos estão descritos na Tabela 6. Os resultados apresentados demonstram que a primeira variável canônica possui poder discriminatório de 65.38%, enquanto que a segunda variável canônica 10.95% e a terceira com poder discriminatório de 9.99% (Tabela 7). Essas informações nos permitem entender que utilizando essas três variáveis canônicas é possível absorver cerca de 86.32% da variação total disponível. Coser et al. (2016), avaliando caracteres vegetativos de macaúba obteve 92.55% nos primeiros três componentes principais destacando as variáveis área de copa e altura de primeira espata, como as que mais contribuíram para a discriminação entre os acessos.

Pelo critério de descarte é considerada a variância das últimas variáveis canônicas, ou seja, características com pequena variabilidade ou que estão correlacionadas com outras apresentarão coeficientes de grande magnitude nos últimos autovetores (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). No presente estudo observou-se que na última variável canônica (VC6), o IFP foi o que apresentou o maior peso (6.52) sendo importante na VC6 somente 1.98% da variação total, assim como para as VC5 e VC4, com 4.58% e 7.12%, respectivamente. Por

este critério, considerando as últimas variáveis canônicas que representam menos de 14% da variação total acumulada, recomenda-se o descarte de IFP.

**Tabela 6-** Estimativas dos coeficientes associados as variáveis canônicas que expressam a importância relativa dos caracteres vegetativos, produtivos e biométricos de frutos de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*.

Características Vegetativas															
VC	DE	PC	APE	NFF	PREC	IFP	VA (%)								
VC1	0.73	1.07	-0.20	-0.60	-4.92	-4.93	65.38								
VC2	0.49	-0.43	-0.09	0.42	8.82	8.61	76.33								
VC3	0.15	0.20	0.32	-0.94	4.09	3.19	86.32								
VC4	0.57	-0.39	0.20	-0.41	-8.58	-8.70	93.44								
VC5	0.41	-0.14	0.94	0.05	5.11	5.37	98.02								
VC6	0.08	0.10	0.43	0.37	-5.95	-6.52	100.00								
Características Produtivas															
VC	MMC	NFC	MCV	CR	TOP	POP	VA (%)								
VC1	-0.25	-0.42	1.70	-1.39	0.84	-0.58	41.24								
VC2	-0.73	0.71	-0.44	-0.21	0.74	0.55	62.66								
VC3	-0.25	-1.07	-0.29	0.63	0.00	1.26	76.37								
VC4	1.11	0.05	0.05	0.45	0.35	-0.99	88.53								
VC5	0.88	-0.68	0.23	-0.52	-0.51	0.77	95.56								
VC6	-2.52	1.66	1.20	-0.03	-0.01	0.37	100.00								
Características Biométricas do Fruto															
VC	MFF	DTF	DLF	VF	EE	IMP	MFEP	MFP	MFEN	MFA	MSEP	MSP	MSEN	MSA	VA (%)
VC1	-1.67	-192.49	-0.16	1.49	68.67	165.66	0.15	0.83	2.69	-6.28	0.69	0.09	-2.02	6.50	58.06
VC2	0.70	-91.54	0.50	-1.14	33.06	77.19	-1.36	1.95	0.46	5.65	2.00	0.20	-0.11	-5.48	71.66
VC3	2.72	-84.63	-1.40	-2.60	30.89	74.27	-0.20	1.20	-3.07	2.85	-1.16	-0.04	4.27	-4.71	82.06
VC4	-9.99	-7.47	-0.14	2.43	2.10	4.37	2.02	5.94	2.42	1.42	1.46	-1.06	0.10	-0.35	87.82
VC5	-4.02	-28.05	0.39	0.16	10.14	26.18	2.46	1.21	0.59	1.46	-1.90	0.21	0.62	-1.84	91.34
VC6	2.08	-29.14	-0.73	-0.69	10.36	25.26	0.68	-1.07	1.29	0.75	-0.12	0.92	-2.24	-1.09	93.90
VC7	-2.11	83.94	-0.96	1.40	-30.03	-72.78	0.44	1.49	-0.61	-2.57	0.30	-0.50	1.00	2.49	95.48
VC8	1.36	-29.53	0.67	-0.02	11.21	26.25	1.46	-3.47	-1.25	0.81	-1.87	2.01	0.86	-1.25	96.74
VC9	-0.90	-62.19	-0.56	2.69	22.83	52.42	-0.67	0.65	-1.15	2.89	0.74	-0.37	-0.01	-1.81	97.72
VC10	-1.79	36.99	0.55	-0.57	-13.23	-32.57	0.81	2.25	-1.36	-1.29	-0.14	-1.00	1.24	2.10	98.36
VC11	-1.93	23.60	0.23	0.24	-7.66	-20.37	0.57	0.45	2.24	-0.40	-0.63	0.70	-2.59	0.88	98.94
VC12	0.03	6.39	0.68	0.11	-2.87	-5.62	-0.21	-0.24	-0.51	-0.75	0.01	-0.22	1.15	-0.57	99.44
VC13	-1.91	-24.39	0.26	-1.47	9.75	22.83	-0.26	1.46	-1.63	0.31	0.59	-0.67	1.27	-0.01	99.80
VC14	3.16	-20.67	-0.25	-0.65	7.99	17.64	-0.22	-2.03	2.15	0.20	0.24	0.05	-2.97	0.09	100.00

DE: diâmetro de estipe; PC: projeção da copa; APE: altura da primeira espata; NFF: número de folhas fotossintetizantes; PREC: precocidade; IFP: início da fase produtiva; MMC: massa média do cacho; NFC: número de frutos por cacho; MCV: massa média do cacho vazio, CR: comprimento da ráquis; TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; MFF: massa fresca média do fruto; DTF: diâmetro médio transversal do fruto; DLF: diâmetro médio longitudinal do fruto; VF: volume do fruto; EE: espessura média do endocarpo; IMP: índice de massa processável; MFEP: massa fresca do epicarpo; MFP: massa fresca da polpa; MFEN: massa fresca do endocarpo; MFA: massa fresca da amêndoa; MSEP: massa seca do epicarpo; MSP: massa seca da polpa; MSEN: massa seca do endocarpo e MSA: massa seca da amêndoa. VA (%): Variação acumulada em porcentagem. VC: Variável canônica.

**Tabela 7** – Estimativas dos autovalores e importância acumulada para as variáveis canônicas relacionadas aos caracteres vegetativos, produtivos e biométricos de frutos de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*.

VC	Autovalor	Importância (%)	Importância (% acumulada)	Características Vegetativas	Recomendação
1	10.09	65.38	65.38	IFP	
2	1.69	10.95	76.33	PREC	
3	1.54	9.99	86.32	PREC	
4	1.10	7.12	93.44	IFP	Descarte
5	0.71	4.58	98.02	IFP	Descarte
6	0.31	1.98	100.00	IFP	Descarte
VC	Autovalor	Importância (%)	Importância (% acumulada)	Características Produtivas	Recomendação
1	3.78	41.24	41.24	MCV	
2	1.96	21.42	62.66	TOP	
3	1.26	13.72	76.37	POP	
4	1.11	12.16	88.53	MMC	
5	0.64	7.03	95.56	MMC	Descarte
6	0.41	4.44	100.00	MMC	Descarte
VC	Autovalor	Importância (%)	Importância (% acumulada)	Características Biométricas	Recomendação
1	48.14	58.06	58.06	DTF	
2	11.28	13.60	71.66	DTF	
3	8.63	10.41	82.06	DTF	
4	4.78	5.76	87.82	MFF	Descarte
5	2.92	3.52	91.34	DTF	Descarte
6	2.12	2.56	93.90	DTF	Descarte
7	1.31	1.58	95.48	DTF	Descarte
8	1.05	1.27	96.74	DTF	Descarte
9	0.81	0.98	97.72	DTF	Descarte
10	0.53	0.64	98.36	DTF	Descarte
11	0.48	0.58	98.94	DTF	Descarte
12	0.42	0.50	99.44	DTF	Descarte
13	0.30	0.36	99.80	DTF	Descarte
14	0.16	0.19	100.00	DTF	Descarte

VC: Variável canônica; IFP: início da fase produtiva; PREC: precocidade; MCV: massa média do cacho vazio; TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; MMC: massa média do cacho; DTF: diâmetro médio transversal do fruto e MFF: massa fresca média do fruto;

Observando os resultados referentes as características produtivas, as três primeiras variáveis canônicas explicaram próximo de 80% da variação disponível dos dados (76.37%, Tabela 6). A MCV foi a variável que ofereceu maior contribuição na discriminação entre os acessos, apresentando o maior coeficiente para a primeira variável canônica (1.70), em seguida o TOP foi a variável mais importante para a VC2 (21.42%) e o POP como a variável de maior contribuição para VC3 que é importante para a diversidade 13.72% (Tabela 7). Em seus estudos avaliando caracteres de produtividade e rendimento de óleo em acessos de

macaúba do BAG-Embrapa, Sá et al. (2021), obtiveram 70.4% da variação explicada pelos primeiros dois componentes principais e indicam os caracteres número de frutos e de cachos, bem como o volume e a massa do fruto sendo estas as variáveis de maior contribuição para a variabilidade entre os acessos. A variável de descarte dos caracteres produtivos foi a MMC, uma vez que a mesma apresentou o maior peso para as três últimas variáveis canônicas (2.52, 0.88 e 1.11 para VC6, VC5 e VC4, respectivamente), representando as menores porcentagens da variação total (Tabela 7).

Para as características biométricas de frutos, verifica-se que as três primeiras variáveis canônicas captaram 82.06% da variação total. A variável DTF apresentou o maior peso (192.49) associado a variável de maior autovalor (VC1), responsável por 58.06% da variação disponível (Tabela 6). Apesar de sua contribuição para a VC1, observou-se que DTF também contribuiu para a menor variação nas últimas variáveis canônicas (Tabela 7), sendo identificada como redundante e passível de descarte. Por outro lado, essa mesma apresentou maior poder discriminatório, contribuindo com a maior porcentagem da variação total; desse modo, a decisão do descarte ou não do DTF para os próximos estudos fica a critério do pesquisador. Como a variável também não foi considerada importante na estatística de Singh (Tabela 5), para este trabalho será recomendado o seu descarte em estudos futuros.

Baseado nas premissas da técnica de variáveis canônicas, os descritores morfoagronômicos PREC, MCV, TOP e POP foram identificados como os caracteres de maior contribuição nas primeiras VCs importantes para a diversidade dos acessos. As variáveis de menor importância foram IFP, MMC, DTF e MFF, e podem ser consideradas variáveis recomendadas para descarte, redundantes por apresentarem alta correlação com outras variáveis mais importantes. Estes resultados concordam com as análises de correlações verificadas anteriormente (Tabela 4 e Figura 3) contribuindo para o descarte dessas. Essa informação é interessante pois possibilita a simplificação estrutural em estudos e programas de melhoramento futuros, o que garante redução de trabalho, tempo e custos desnecessários.

A contribuição relativa para a importância das variáveis pela estatística de Singh (Tabela 5) e o critério de descarte pela técnica das variáveis canônicas (Tabelas 6 e 7), obtiveram resultados concordantes na avaliação dos descritores morfoagronômicos. Assim, devem ser considerados para estudos futuros da diversidade genética e em planejamento de cruzamentos promissores entre os 36 acessos de *A. aculeata* pertencentes ao BAG-Macaúba.

#### 4. CONCLUSÃO

O estudo comprovou a existência de grande variabilidade genética entre os 36 acessos de *A. aculeata* presentes no BAG-Macaúba. Em geral, os materiais genéticos analisados foram produtivos, apresentaram frutos com excelentes características biométricas, e consequentemente grande potencial oleífero por planta em seus primeiros anos de produção.

As características com maiores coeficientes de variação genética foram POP (47.44%), NFC (42.06%), MSP (31.22%), MMC (30.17%) e MFP (30.05%). A herdabilidade mostrou-se alta e muito alta para a maioria dos descritores morfoagronômicos avaliados, revelando forte controle genético com destaque para os caracteres biométricos de frutos.

As características biométricas de frutos apresentaram altas correlações positivas entre si e uma forte correlação negativa foi verificada em PREC com IFP e DE com MSP.

As variáveis em estudo consideradas de maior importância, de acordo com Singh (1981), foram PREC, PC, DE, TOP, CR, MCV, NFC, POP, IMP e EE, sendo assim, considerados descritores eficientes para o estudo da diversidade e será importante em etapas mais avançadas dos programas de melhoramento da espécie.

Para a técnica de variáveis canônicas, os caracteres com maior poder discriminatório foram PREC, MCV, TOP e POP. Os caracteres IFP, MMC, DTF e MFF, mostraram-se redundantes e identificados como descritores morfoagronômicos que contribuíram significativamente pouco para a discriminação entre os acessos e, portanto, recomendados para descarte em estudos futuros.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético da plantas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2017.

BYERS, D. L. Components of phenotypic variance nbr. **Nature education**, v. 1, n. 1, p. 161, 2008.

CICONINI, G. et al. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and**

**Products**, v. 45, p. 208–214, 2013.

COELHO, R. M. et al. Non-biotic factors determining plasticity of the prospective oil-rich macauba palm (*Acrocomia aculeata*). **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 3, p. 771–782, 2019.

COLOMBO, C. A. et al. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL**, v. 25, n. 1, p. 9, 2018.

COSER, S. M. et al. Breeding of *Acrocomia aculeata* using genetic diversity parameters and correlations to select accessions based on vegetative, phenological, and reproductive characteristics. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 4, 2016.

COSTA, A. M. et al. Genetic parameters and selection of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) accessions: an alternative crop for biofuels. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 259–266, 2018.

CRUZ, C. D. **Princípios de Genética Quantitativa**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547–552, 2016.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; BHERING, L. L. Biometry in plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, n. Special Issue, p. 1–11, 2021.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 2. ed. Viçosa: Suprema, 2020.

DA CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. et al. Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. **BMC Research Notes**, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2015.

DE LIMA, N. E.; MEEROW, A. W.; MANFRIN, M. H. Genetic structure of two *Acrocomia* ecotypes (Arecaceae) across Brazilian savannas and seasonally dry forests. **Tree Genetics and Genomes**, v. 16, n. 4, p. 1–12, 2020.

DÍAZ, B. G. et al. Genome-wide SNP analysis to assess the genetic population structure and diversity of *Acrocomia* species. **PLoS ONE**, v. 16, n. 7, p. e0241025, 2021.

DOMICIANO, G. P. et al. Parâmetros genéticos e diversidade em progênies de macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 9, p. 1599–1605,

2015.

EVARISTO, A. B. et al. Caracterização Físico-Química De Frutos De Macaúba Provenientes De Três Regiões Do Estado De Minas Gerais. **Revista Agrotecnologia - Agrotec**, v. 8, n. 2, p. 81, 2017.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987.

IAL (INSTITUTO ADOLF LUTZ). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos - 4ª Edição, 1ª Edição Digital**. Disponível em: <[https://www.academia.edu/15369554/Livro\\_-\\_Metodos\\_fisico-quimicos\\_para\\_analise\\_de\\_alimentos\\_IV](https://www.academia.edu/15369554/Livro_-_Metodos_fisico-quimicos_para_analise_de_alimentos_IV)>. Acesso em: 11 jun. 2020.

LANES, É. C. M. et al. Molecular Characterization and Population Structure of the Macaw Palm , *Acrocomia aculeata* (Arecaceae ), Ex Situ Germplasm Collection Using Microsatellites Markers. **Journal of Heredity**, v. 106, n. 1, p. 102–112, 2015.

LANES, É. C. M. et al. Mating System and Genetic Composition of the Macaw Palm (*Acrocomia aculeata* ): Implications for Breeding and Genetic Conservation Programs. **Journal of Heredity**, v. 107, n. 6, p. 527–536, 2016.

LIEB, V. M. et al. Fatty acids and triacylglycerols in the mesocarp and kernel oils of maturing Costa Rican *Acrocomia aculeata* fruits. **NFS Journal**, v. 14–15, p. 6–13, 2019.

LIMA, N. E. DE et al. A review of the palm genus *Acrocomia*: Neotropical green gold. **Organisms Diversity and Evolution**, v. 18, n. 2, p. 151–161, 2018.

LORENZI, H. et al. **Flora brasileira Lorenzi arecaceae (palmeiras)**. Nova Odessa: Nova Odessa Instituto Plantarum, 2010.

MANFIO, C. E. et al. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 1, p. 70–76, 2011.

MANFIO, C. E. et al. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 63–68, 2012.

MEIRA, D. et al. Phenotypic variance of black oat growing in crop seasons reveals genetic effects predominance. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, p. 1–9, 2019.

MONTOYA, S. G. et al. Fruit development , growth , and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, n. 4, p. 927–938, 2016.

MOTOIKE, S. Y. et al. **A cultura da macaúba implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa: Editora UFV, 2013.

NOBRE, D. et al. Caracterização morfométrica de uma população natural de macaúba no norte de Minas Gerais. **Energ. Agric., Botucatu**, v. 30, n. 3, p. 290–293, 2015.

OLIVEIRA, J. A. A. et al. Estimation of genetic parameters and selection for rooting capacity in peach. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p. 320–324, 2018.

PIMENTEL, L. D. et al. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1ª aproximação. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 20-30, 2011.

PIRES, T. P. et al. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200–210, 1 jan. 2013.

REIS, E. F. dos et al. Characteristics of 137 macaw palm (*Acrocomia aculeata*) fruit accessions from Goiás, Brazil. **Comunicata Scientiae**, v. 10, n. 1, p. 117–124, 2019.

RESENDE, M. D. V. DE; ALVES, R. S. Linear, Generalized, Hierarchical, Bayesian and Random Regression Mixed Models in Genetics/Genomics in Plant Breeding. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 2, n. 2, p. 1–31, 2020.

RESENDE, M. D. . **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

ROSADO, R. D. S. et al. Genetic parameters and simultaneous selection for adaptability and stability of macaw palm. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 291–296, 2019.

SÁ, S. F. DE et al. Genetic diversity via REML-BLUP of ex situ conserved macauba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] ecotypes. **Genetic Resources and Crop Evolution**, p. 1–12, 2021.

SCARIOT, A. O.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Reproductive Biology of the Palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, v. 23, n. 1, p. 12, 1991.

SHIMAKURA, S. E.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Estatística**. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~paulojus/ce003/ce003/ce003.html>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

SILVA, L. C. C. et al. Genetic Diversity and Structure of Macaw Palm: Implications for Genetic Variability Sampling. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, 2017.

SIMIQUELI, G. F. et al. Inbreeding depression as a cause of fruit abortion in structured populations of macaw palm (*Acrocomia aculeata*): Implications for breeding programs. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 652–659, 2018.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237–245, 1981.

VIANNA, S. A. et al. Biometric Characterization of Fruits and Morphoanatomy of the Mesocarp of *Acrocomia* Species (Arecaceae). **International Journal of Biology**, v. 9, n. 3, p. 78, 2017.

## **CAPÍTULO II**

**PADRÃO DE DISSIMILARIDADE GENÉTICA E CRUZAMENTOS  
PROMISSORES ENTRE ACESSOS DE MACAÚBA COM BASE EM  
CARACTERES VEGETATIVOS, PRODUTIVOS E BIOMÉTRICOS DE FRUTOS**

## **PADRÃO DE DISSIMILARIDADE GENÉTICA E CRUZAMENTOS PROMISSORES ENTRE ACESSOS DE MACAÚBA COM BASE EM CARACTERES VEGETATIVOS, PRODUTIVOS E BIOMÉTRICOS DE FRUTOS**

### **RESUMO**

A diversidade genética de uma população pode ser avaliada a partir de informações das características morfoagronômicas de interesse e contribui para a identificação e seleção dos genitores adequados para o planejamento dos cruzamentos e obtenção de híbridos superiores. Objetivou-se com este estudo estimar as dissimilaridades genéticas e o padrão de agrupamento com base em descritores morfoagronômicos de 36 acessos de macaúba pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Universidade Federal de Viçosa (BAG-Macaúba). Os resultados poderão orientar cruzamentos promissores que devem compor o programa de melhoramento da espécie. Foram avaliadas características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos referente a safra 2019/2020 e os dados submetidos a análise multivariada, por meio de técnicas de otimização (Tocher) e hierárquicas (UPGMA), baseadas em informações de dissimilaridade entre os acessos expressa pela Distância Generalizada de Mahalanobis. Adicionalmente foi realizado o estudo da diversidade com base na dispersão gráfica utilizando a técnica das Variáveis Canônicas para identificação de grupos similares e acessos divergentes ideais para os cruzamentos. Os mais divergentes em relação ao BGP 150 foram os acessos BGP 212, BGP 224, BGP 229 e BGP 240 segundo a dissimilaridade estimada para os caracteres vegetativos, enquanto que para os caracteres produtivos foram os acessos BGP 248, BGP 160, BGP 219 e BGP 185. O agrupamento pelo método de Tocher reuniram os acessos em 11 grupos para características vegetativas e 6 grupos para características produtivas e biométricas de frutos. No agrupamento por UPGMA, formaram-se 3, 6 e 4 grupos para as características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos, respectivamente. Os cinco materiais genéticos mais precoces foram os acessos BGP 219, BGP 160, BGP 204, BGP 196 e BGP 215. Os mais produtivos foram identificados sendo os acessos BGP 219, BGP 224, BGP 216, BGP 160 e BGP 180. Considerando variabilidade genética, precocidade e produtividade dos acessos recomenda-se os seguintes cruzamentos: BGP 160 x BGP 196; BGP 160 x BGP 204; BGP 160 x BGP 215; BGP 160 x BGP 224; BGP 160 x BGP 216 e BGP 180 x BGP 219.

**Palavras-chave:** Acrocomia. Diversidade Genética. Pré-melhoramento de palmácea.

**PATTERN OF GENETIC DISSIMILARITY AND PROMISING CROSSES  
BETWEEN MACAUBA ACCESSIONS BASED ON VEGETATIVE, PRODUCTIVE  
AND BIOMETRIC CHARACTERS OF FRUIT**

**ABSTRACT**

The genetic diversity of a population can be evaluated from information on morphoagronomic characteristics. This step contributes to the identification and selection of suitable parents for the planning of crosses, increasing the chances of developing superior hybrids. The objective of this study was to estimate the genetic dissimilarities and the clustering pattern based on morphoagronomic descriptors of 36 macaw palm accessions belonging to the Active Germplasm Bank of the Universidade Federal de Viçosa (BAG-Macaúba). Further, the results can guide promising crosses that should compose the program of genetic improvement. Vegetative, productive and biometric characteristics of fruits for the 2019/2020 harvest were evaluated and the data submitted to multivariate analysis, through optimization (Tocher) and hierarchical (UPGMA) techniques, based on dissimilarity information between accesses expressed by Distance Generalized from Mahalanobis. Additionally, the study of diversity was carried out based on graphic dispersion using the Canonical Variables technique to identify similar groups and ideal divergent accessions for crosses. According to the estimated dissimilarity for the vegetative characters, the most divergent in relation to the BGP 150 were the accesses BGP 212, BGP 224, BGP 229 and BGP 240 while for the productive characters were the accessions BGP 248, BGP 160, BGP 219 and BGP 185. The Tocher method grouped the accessions into 11 groups for vegetative characteristics and 6 groups for productive and biometric characteristics of fruits. In the UPGMA grouping, 3, 6 and 4 groups were formed for the vegetative, productive and biometric characteristics of fruits, respectively. The five most precocious genetic materials included accessions BGP 219, BGP 160, BGP 204, BGP 196 and BGP 215. The most productive were identified as accesses BGP 219, BGP 224, BGP 216, BGP 160 and BGP 180. Considering genetic variability, precocity and yield of accessions, the following crosses are recommended: BGP 160 x BGP 196; BGP 160 x BGP 204; BGP 160 x BGP 215; BGP 160 x BGP 224; BGP 160 x BGP 216 and BGP 180 x BGP 219.

**Keywords:** Acrocomia. Genetic Diversity. Pre-breeding of palm.

## 1. INTRODUÇÃO

A palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*) comum nas regiões da América Central e do Sul e amplamente distribuída em território brasileiro, constitui-se uma espécie oleaginosa com grande potencial produtivo e com boas perspectivas para contribuir com a diversificação da matriz oleífera brasileira (COLOMBO et al., 2018; LIMA et al., 2018; MONTOYA et al., 2021; MOTOIKE et al., 2013; PIRES et al., 2013; ROSADO et al., 2019). Lima et al. (2018), estudando sobre a ocorrência geográfica da *Acrocomia sp.*, estabeleceu o Brasil como o país de maior distribuição do gênero. Segundo o autor, o maior número de registros é no bioma Cerrado, porém a macaúba pode ser encontrada em diversas ecoregiões brasileiras, revelando alta adaptabilidade da palmeira a diferentes condições edafoclimáticas.

Em decorrência da exploração extrativista, a coleta de frutos de *A. aculeata* ainda é ineficiente, comprometendo a qualidade final dos mesmos (REIS et al., 2019; LIMA et al., 2018). Assim, a exploração racional da palmeira torna-se necessária para que o estabelecimento de seu cultivo, industrialização e comercialização seja consolidado. Como consequência da crescente demanda mundial por óleos vegetais e a busca por fontes diversificadas sustentáveis e lucrativas, a pesquisa e o desenvolvimento de cultivares de macaúba por meio do melhoramento genético, viabilizaria a cadeia produtiva da palmeira (COLOMBO et al., 2018; MOTOIKE et al., 2013).

De acordo com Fernández-Coppel et al. (2018), existem boas perspectivas para o melhoramento genético e domesticação da palmeira capaz de aumentar ainda mais sua produtividade. Em programas de melhoramento, aumentar a produtividade e a qualidade da matéria prima, obter cultivares resistentes e maior conservação pós-colheita, são objetivos cruciais para o desenvolvimento de sistemas produtivos eficientes, competitivos, e que atendam às necessidades de mercados diversos (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017). Para Coser et al. (2016) o comportamento vegetativo e reprodutivo que se referem a área do dossel, diâmetro de caule, precocidade, altura e número de espatas, são os principais caracteres do estágio inicial do melhoramento da macaúba.

É fundamental que no estudo de conservação, genética e melhoramento de uma cultura exista disponibilidade de diferentes genótipos. Deste modo, Bancos Ativo de Germoplasma (BAGs) são de inegável importância para as pesquisas. O BAG de Macaúba pertencente a Universidade Federal de Viçosa, possui uma diversidade de acessos genéticos de ampla riqueza fenotípica, fontes de variabilidade que são essenciais para os programas de pré-melhoramento da espécie.

A diversidade genética de uma população pode ser avaliada a partir de informações das características morfoagronômicas de interesse. O conhecimento quantificado das divergências existentes entre os indivíduos determina o sucesso de um programa de pré-melhoramento vegetal. Pesquisas com a palmeira relatam grande diversidade genética encontrada em seus resultados (DA CONCEIÇÃO et al., 2015; DÍAZ et al., 2021; LANES et al., 2015; MENGISTU; MOTOIKE; CRUZ, 2016; OLIVEIRA et al., 2012; SÁ et al., 2019, 2021; SILVA et al., 2017). Para Borém; Miranda; Fritsche-Neto (2017), as mais importantes etapas para o sucesso de um programa de melhoramento consiste na formação de uma população-base através da seleção dos genitores promissores e o planejamento dos cruzamentos.

O estudo da diversidade genética contribui para a identificação dos genitores adequados ao cruzamento de modo a garantir a obtenção de híbridos de maiores efeitos heteróticos e que proporcione maior segregação em recombinações, constituindo-se prioridade durante o pré-melhoramento de uma espécie (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). Para isso, quanto mais divergentes forem os genitores maior será a variabilidade resultante na população segregante, e conseqüentemente maior a probabilidade de reagrupar os alelos em novas combinações favoráveis (MANFIO et al., 2012). Isso garantiria excelência nas combinações destes cruzamentos maximizando a utilização de alelos desejáveis e aumentando as chances de desenvolvimento de genótipos superiores.

Para Costa et al. (2018), o estudo da diversidade baseada em características morfológicas e fisiológicas, permite conhecer sobre as melhores combinações híbridas garantidas pelo estabelecimento de estratégias de seleção que maximizem caracteres agrônômicos de interesse. Assim, o estudo da diversidade genética de macaúba, além de possibilitar um adequado conhecimento para orientação da seleção e recomendação de materiais genéticos mais promissores, proporciona maiores ganhos genéticos contribuindo de forma relevante para o melhoramento de futuros cultivares comerciais (DÍAZ et al., 2021).

Por meio de técnicas multivariadas é possível quantificar a diversidade a partir das informações sobre o padrão de dissimilaridade genética que possibilita orientar cruzamentos entre os acessos de macaúba avaliados. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho, identificar os grupos de acessos similares e divergentes de macaúba pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Araponga, Minas Gerais. Isto permitirá indicar acessos de maior potencial agrônômico, bem como, direcionar cruzamentos ideais que devem compor o programa de melhoramento da palmeira.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba) pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizado na Unidade da Estação Experimental de Araponga – MG (latitude 20° 40' 01"S; longitude 42 ° 31'15 "W). Segundo a classificação de Köppen o clima é considerado Cwb, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos com precipitação média de 1.357 mm.

A caracterização morfoagronômica foi realizada em condições de campo e em laboratório de pós-colheita de frutos, avaliando caracteres vegetativos, produtivos e biométricos de frutos de 36 acessos genéticos de famílias de meios-irmãos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) (Figura 1).



**Figura 1-** Imagens dos acessos genéticos pertencentes ao BAG-Macaúba devidamente identificados e organizados em delineamentos em blocos.

As mudas foram produzidas a partir de matrizes altamente produtivas com elevado número de frutos procedentes nos municípios de Luz e Santa Luzia do estado de Minas Gerais (Figura 2). Em 2012 os materiais foram introduzidos na Gleba V do BAG-Macaúba e atualmente se encontram com recente início de produção. Os acessos foram dispostos no

campo em delineamento em blocos casualizados, com duas repetições, e a unidade experimental composta por duas plantas.

Acesso	Código do BAG	Localidade Matriz	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	BGP 150	Santa Luzia - Região Metropolitana de BH	S 19° 41' 10.7"	W 43° 46' 29.1"	685.8
2	BGP 151		S 19° 41' 10.7"	W 43° 46' 29.0"	687.2
3	BGP 152		S 19° 41' 8.8"	W 43° 46' 25.9"	683.9
4	BGP 154		S 19° 41' 7.9"	W 43° 45' 55.2"	726.6
5	BGP 156		S 19° 41' 7.2"	W 43° 45' 55.2"	716.8
6	BGP 157		S 19° 41' 0.7"	W 43° 45' 58.0"	702.6
7	BGP 158		S 19° 41' 1.9"	W 43° 46' 59.3"	701.2
8	BGP 159		S 19° 44' 10.7"	W 43° 47' 13.8"	719.7
9	BGP 160		S 19° 44' 12.7"	W 43° 47' 15.7"	731.7
10	BGP 169		S 19° 41' 25.8"	W 43° 46' 13.4"	687.5
11	BGP 172		S 19° 41' 30.2"	W 43° 46' 14.4"	693.5
12	BGP 180		S 19° 41' 3.1"	W 43° 46' 25.3"	718.9
13	BGP 184		S 19° 40' 22.9"	W 43° 44' 53.5"	841.8
14	BGP 185		S 19° 40' 21.7"	W 43° 44' 55.0"	853.8
15	BGP 194		S 19° 40' 18.5"	W 43° 44' 53.2"	884.8
16	BGP 196		S 19° 40' 16.9"	W 43° 44' 52.2"	895.6
17	BGP 200		S 19° 41' 11.2"	W 43° 46' 26.6"	686
18	BGP 201		S 19° 40' 14.9"	W 43° 44' 56.9"	891.3
19	BGP 204		S 19° 40' 14.8"	W 43° 44' 55.5"	897
20	BGP 210	Luz - Região Central de Minas	S 19° 47' 4.5"	W 45° 51' 12.1"	680
21	BGP 212		S 19° 46' 54.5"	W 45° 51' 11.2"	667.5
22	BGP 214		S 19° 47' 6.2"	W 45° 51' 15.3"	676.6
23	BGP 215		S 19° 47' 3.6"	W 45° 51' 14.4"	680
24	BGP 216		S 19° 46' 48.5"	W 45° 50' 52.8"	689.9
25	BGP 218		S 19° 46' 45.7"	W 45° 50' 57.3"	678.8
26	BGP 219		S 19° 46' 48.7"	W 45° 50' 59.2"	682.9
27	BGP 222		S 19° 46' 49.1"	W 45° 51' 0.1"	693.2
28	BGP 224		S 19° 46' 50.9"	W 45° 51' 3.7"	679.3
29	BGP 227		S 19° 47' 40.6"	W 45° 52' 11.4"	661
30	BGP 228		S 19° 47' 39.1"	W 45° 52' 10.9"	662.2
31	BGP 229		S 19° 47' 41.5"	W 45° 52' 8.4"	656.5
32	BGP 235		S 19° 47' 42.3"	W 45° 52' 8.9"	656.2
33	BGP 237		S 19° 47' 46.6"	W 45° 52' 6.9"	658.1
34	BGP 240		S 19° 47' 52.9"	W 45° 52' 12.0"	657.4
35	BGP 241		S 19° 47' 50.0"	W 45° 52' 12.6"	660.8
36	BGP 248		S 19° 46' 52.6"	W 45° 51' 2.6"	686.7



**Figura 2-** Identificação dos 36 acessos genéticos presentes no BAG-Macaúba e as respectivas origens geográficas das matrizes (Luz e Santa Luzia -MG) que originaram os acessos utilizados no estudo.

A avaliação dos descritores morfoagronômicos foram referentes aos caracteres vegetativos, produtivos e biométricos de frutos bem como suas respectivas unidades encontram-se na Tabela 1. Para o DE foi utilizado uma suta dendrométrica manual para as medições do diâmetro em posições opostas no estipe a um metro acima da base da planta ao solo, posteriormente foi calculado o diâmetro médio para esta variável. A PC foi obtida por meio de uma projeção média entre medidas de distâncias longitudinais e transversais (diâmetro da copa a partir dos extremos das folhas), utilizando-se uma trena. A APE foi medida a distância da base da planta ao solo até a primeira espata emitida pela planta. Foi realizada a contagem das folhas verdes fotossinteticamente ativas e a PREC indicou o número de safras produtivas da planta até a safra 2019/2020.

A colheita dos frutos foi realizada de acordo com a maturação dos mesmos, por meio de observações semanais no campo. A MMC refere-se a massa total dos frutos somada à massa das ráquis pelo total de cachos na planta. O NFC foi uma média do número de frutos totais pelo total de cachos na planta. A MCV consistiu no valor da massa média dos cachos

vazios, as ráquis foram pesadas junto às ráquulas, com auxílio de uma balança digital portátil. O CR foi medido utilizando uma fita métrica, tomando-se o critério de medida de comprimento a partir dos dez centímetros acima da inserção da primeira ráquila até a extremidade da última ráquila.

**Tabela 1-** Descrição das características morfoagronômicas e suas respectivas siglas e unidades avaliadas em 36 acessos genéticos de macaúba presentes no BAG-Macaúba.

	Características Morfoagronômicas	Sigla	Unidade
Vegetativas	Diâmetro de estirpe	DE	cm
	Projeção da copa	PC	m
	Altura da primeira espata	APE	m
	Número de folhas fotossintetizantes	NFF	n.
	Precocidade	PREC	n. sf
Produtivas	Massa média do cacho	MMC	kg
	Número de frutos por cacho	NFC	n.
	Massa média do cacho vazio	MCV	kg
	Comprimento da ráquis	CR	cm
	Teor de óleo da polpa	TOP	%
	Produção de óleo por planta	POP	kg/pl
Biométricas de Frutos	Diâmetro longitudinal do fruto	DLF	mm
	Espessura média do endocarpo	EE	mm
	Índice de massa processável	IMP	n.
	Massa fresca do epicarpo	MFEP	g
	Massa fresca da polpa	MFP	g
	Massa fresca do endocarpo	MFEN	g
	Massa fresca da amêndoa	MFA	g
	Massa seca da polpa	MSP	g

cm: centímetros; m: metros; n.: número; n. sf: número de safras produtivas; kg: quilogramas; %: porcentagem; kg/pl: quilogramas por planta; mm: milímetros; g: gramas.

O TOP foi avaliado utilizando-se frutos despulpados e a polpa seca em estufa com circulação e renovação de ar a uma temperatura de 65°C por 48 horas. Foram retirados um grama do material desidratado para realização do método adaptado 032/IV de extração direta em “Soxhlet”, usando o *n-hexano* como solvente orgânico, metodologia estabelecida pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). O cálculo do teor de óleo foi a partir da diferença entre a massa da amostra inicial e a massa final após a extração e calculado pela expressão  $TO (\%) = (P1-P2) / (P1-P) \times 100$ , onde: TO (%): teor de óleo em porcentagem; P: peso do cartucho; P1: peso do cartucho contendo a amostra antes da extração do óleo; P2: peso do cartucho contendo a amostra após a extração do óleo.

Para a obtenção da produção de óleo por planta, de acordo com Costa et al. (2018), foi calculado por meio do produto:  $POP = (\text{número de frutos}) \times (\text{massa seca da polpa}) \times (\text{teor de óleo})$ . Todas as características produtivas foram referentes à safra 2019/2020.

Após a caracterização produtiva, os frutos foram coletados aleatoriamente e armazenados em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$  para conservação e posterior análises dos mesmos. As análises dos frutos foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita da Macaúba localizado no setor de fruticultura da UFV. As características biométricas foram avaliadas em quatro frutos por planta, onde foram mensurados separadamente cada fruto e suas partes constituintes: o diâmetro médio longitudinal do fruto, a espessura do endocarpo, o índice de massa processável, a massa fresca do epicarpo, a massa fresca da polpa, a massa fresca do endocarpo, a massa fresca da amêndoa e a massa seca da polpa.

Todas as avaliações de massa fresca e seca dos constituintes dos frutos foram obtidos por meio do peso em balança analítica de precisão Shimadzu modelo AUY 220. A massa seca dos constituintes dos frutos foi mensurada após a secagem da massa fresca em estufa com circulação de ar a  $65^{\circ}\text{C}$  até obter peso constante. O DLF foi obtido com auxílio de paquímetro digital de 0.01 mm de precisão. A EE foi medida com o paquímetro digital em duas porções aleatórias do endocarpo, obtendo-se a média. O IMP foi determinado conforme Manfio et al. (2011), obtido pela expressão:  $\text{IMP} = \text{diâmetro equatorial do fruto} - 2x \text{ espessura do endocarpo}$ .

Com base nas avaliações dos caracteres morfoagronômicos foram aplicados os procedimentos estatísticos da estimativa das distâncias genéticas entre os acessos utilizando a Distância Generalizada de Mahalanobis, como medida de dissimilaridade. A distância de Mahalanobis se baseia em diferenças fenotípicas, nas quais as características são avaliadas com grau significativo de correlações entre si e dispõe-se de informações das variâncias e covariâncias residuais (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). As estimativas das distâncias de Mahalanobis foram obtidas por meio da seguinte expressão:

$$D_{ii'}^2 = \delta' \Psi^{-1} \delta$$

em que:

$D_{ii'}^2$  : distância de Mahalanobis entre os genótipos  $i$  e  $i'$ ;

$\Psi$  : matriz de variâncias e covariâncias residuais;

$\delta'$  :  $[d_1 \ d_2 \ \dots \ d_v]$ , sendo  $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$ ;

$Y_{ij}$  : média do  $i$ -ésimo genótipo em relação à  $j$ -ésima variável.

Foram aplicadas técnicas multivariadas para análises de agrupamento, utilizando-se o método de otimização de Tocher, o método hierárquico UPGMA (Unweighted Pair-Group

Method using Arithmetic Averages) e a Projeção 3D por Variáveis Canônicas, a fim de comparação, maior confiabilidade dos dados e verificação de formação de grupos de maior similaridade genética. As matrizes de distâncias baseadas nas características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos, foram submetidas ao teste de Mantel a fim de verificar a consistência da diversidade nos diferentes grupos de variáveis por meio da significância da correlação entre as três matrizes de distância geradas. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software Genes integrado ao R (CRUZ, 2016).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Análise preliminar dos acessos menos e mais similares**

A análise de dissimilaridade genética utilizando a distância generalizada de Mahalanobis apresentou informações relativas aos acessos menos e mais similares em relação ao conjunto dos 36 materiais genéticos avaliados. Segundo Cruz; Ferreira; Pessoni (2020), as estimativas de dissimilaridade atendem aos objetivos do melhorista por responderem as questões de quantificação e informação sobre o nível de semelhança ou diferença existente entre dois quaisquer materiais genéticos.

A Tabela 2 apresenta quatro referências de acessos menos e mais similares segundo a matriz de dissimilaridade de Mahalanobis estimada em relação a cada acesso individual. Dentre os caracteres vegetativos, os quatro acessos menos similares em relação ao primeiro acesso apresentado (BGP 150), são os acessos BGP 212, BGP 224, BGP 229 e BGP 240. Neste estudo, entende-se que em relação a este primeiro acesso, deve-se dar preferência aos cruzamentos com acessos divergentes e evitar cruzamentos com os acessos BGP 152, BGP 158, BGP 180 e BGP 151, os quais apresentaram dissimilaridade muito abaixo da média geral da diversidade do genitor BGP 150. O mesmo raciocínio aplica-se aos demais acessos do BAG e seus correspondentes de maiores e menores similaridades. Estes resultados são concordantes quanto a origem geográfica das matrizes desses acessos (Figura 2) e tenderam a serem similares de acordo com a sua procedência, atestando que esses materiais semelhantes são da mesma localidade matriz do BGP 150 (Santa Luzia), ou seja, estavam mais próximos uns dos outros. Sá et al. (2019), também verificaram tendência de similaridade conforme a origem geográfica de 39 genótipos avaliados do banco de germoplasma de macaúba da Embrapa Cerrados.

**Tabela 2-** Acessos Menos e Mais similares relacionadas as variáveis vegetativas para a diversidade genética entre acessos de macaúba, e suas respectivas médias, baseada na distância generalizada de Mahalanobis.

<b>Acesso/Código do BAG</b>	<b>Acessos Menos Similares (BGP)</b>				<b>Média das distâncias</b>	<b>Acessos Mais Similares (BGP)</b>				<b>Média das distâncias</b>	<b>Média Geral</b>
<b>BGP 150</b>	212	224	229	240	78.80	152	158	180	151	11.70	38.20
<b>BGP 151</b>	212	224	157	241	53.20	180	154	156	158	9.30	24.00
<b>BGP 152</b>	212	240	229	215	61.40	169	156	184	180	5.70	27.60
<b>BGP 154</b>	157	224	241	212	58.80	151	158	180	237	10.60	26.80
<b>BGP 156</b>	212	157	240	224	44.50	184	180	196	200	1.80	18.20
<b>BGP 157</b>	212	240	229	215	163.80	194	172	185	169	21.00	83.60
<b>BGP 158</b>	212	157	240	229	46.70	180	196	204	200	3.70	19.00
<b>BGP 159</b>	157	194	172	150	59.70	216	218	228	201	1.80	16.60
<b>BGP 160</b>	157	150	194	172	49.20	200	219	159	196	5.90	19.20
<b>BGP 169</b>	212	240	215	229	56.90	152	184	156	180	4.30	23.40
<b>BGP 172</b>	240	212	241	215	101.20	185	194	180	169	10.30	45.80
<b>BGP 180</b>	212	240	224	229	50.10	158	156	204	184	2.10	19.90
<b>BGP 184</b>	212	240	224	215	46.20	156	204	180	200	1.80	19.80
<b>BGP 185</b>	240	215	212	229	74.60	172	194	169	180	7.30	32.20
<b>BGP 194</b>	240	212	215	229	102.20	185	172	169	157	8.50	45.40
<b>BGP 196</b>	157	212	240	172	40.10	200	156	204	184	2.60	15.70
<b>BGP 200</b>	157	240	212	215	40.30	204	196	184	156	2.10	16.30
<b>BGP 201</b>	157	172	194	185	63.40	235	159	218	216	2.80	18.80
<b>BGP 204</b>	212	240	229	157	46.70	200	184	180	156	2.10	20.00
<b>BGP 210</b>	157	194	172	185	67.50	222	237	214	227	2.40	21.90
<b>BGP 212</b>	157	194	172	150	120.20	229	228	227	240	9.40	42.30
<b>BGP 214</b>	157	194	172	150	51.50	237	216	227	218	1.40	15.80
<b>BGP 215</b>	157	194	172	185	107.30	240	228	229	241	6.90	34.80
<b>BGP 216</b>	157	194	172	150	57.10	214	159	235	218	1.50	16.80
<b>BGP 218</b>	157	172	194	150	58.80	159	216	228	214	1.80	16.60
<b>BGP 219</b>	157	150	172	194	59.90	160	200	196	204	8.40	25.90
<b>BGP 222</b>	157	194	172	150	77.60	210	227	218	237	3.20	24.70
<b>BGP 224</b>	157	172	150	194	94.00	241	218	228	222	11.70	35.90
<b>BGP 227</b>	157	194	172	150	67.10	214	237	218	210	2.60	20.00
<b>BGP 228</b>	157	172	194	150	77.00	218	159	216	227	2.60	21.50
<b>BGP 229</b>	157	194	172	150	105.40	240	228	241	215	4.50	33.80
<b>BGP 235</b>	157	172	194	185	52.20	201	216	159	218	2.20	16.80
<b>BGP 237</b>	157	194	172	150	50.90	214	227	210	216	2.20	17.00
<b>BGP 240</b>	157	194	172	185	114.50	229	228	241	215	4.80	37.70
<b>BGP 241</b>	157	172	194	185	99.60	228	229	240	201	5.90	32.90
<b>BGP 248</b>	157	150	172	194	58.80	237	227	214	218	7.40	25.30

Em relação aos caracteres produtivos (Tabela 3), os mais similares ao primeiro acesso avaliado foram os acessos BGP 152, BGP 158, BGP 201 e BGP 194, sendo aqueles de maiores semelhanças genéticas com o acesso BGP 150. Quanto aos menos similares se destacaram os acessos BGP 248, BGP 160, BGP 219 e BGP 185. Estes materiais geneticamente divergentes devem ser priorizados cruzamentos entre si, para que seja possível a obtenção de híbridos heteróticos que proporcione populações segregantes com maior chance de manifestação de transgressivos. Em termos gerais, a heterose depende de dois aspectos básicos: a existência de um efeito atribuído a dominância dos genes para determinado caráter,

e em função do quadrado da diferença expresso por frequência gênica entre os genitores que estão sendo cruzados (CRUZ; CARNEIRO; BHERING, 2021; FALCONER, 1987). Assim entende-se que o vigor manifestado em indivíduos híbridos depende da diversidade genética dos genitores e que prever essa variabilidade com um bom planejamento de cruzamentos promissores, significa antecipar o fenômeno da heterose em suas progênies.

**Tabela 3-** Acessos Menos e Mais similares relacionadas as variáveis produtivas para a diversidade genética entre de acessos de macaúba, e suas respectivas médias, baseada na distância generalizada de Mahalanobis.

Acesso/Código do BAG	Acessos Menos Similares (BGP)	Média das distâncias	Acessos Mais Similares (BGP)	Média das distâncias	Média Geral
BGP 150	248 160 219 185	29.80	152 158 201 194	13.80	4.00
BGP 151	160 185 159 157	50.00	235 210 172 169	18.20	3.80
BGP 152	160 248 185 157	27.50	150 158 196 201	11.90	3.20
BGP 154	248 159 214 210	34.50	218 224 194 158	15.20	4.40
BGP 156	248 159 216 222	52.00	184 185 154 150	27.80	9.20
BGP 157	248 210 214 235	48.70	154 194 201 218	26.80	12.40
BGP 158	248 185 159 160	27.00	201 204 212 218	10.20	2.60
BGP 159	248 210 214 219	56.20	196 150 152 180	37.10	19.20
BGP 160	248 210 151 214	64.00	180 196 154 224	35.00	17.30
BGP 169	185 160 159 157	40.00	172 235 200 151	14.70	3.90
BGP 172	185 160 156 184	41.00	200 169 222 204	15.80	2.70
BGP 180	248 214 210 227	41.00	204 158 154 150	19.70	6.60
BGP 184	248 222 216 159	43.90	156 196 185 228	25.70	9.80
BGP 185	248 222 216 200	64.00	156 184 154 157	35.60	12.20
BGP 194	248 159 160 185	26.50	229 201 240 212	10.90	2.50
BGP 196	248 157 151 185	23.80	152 194 240 201	13.70	5.50
BGP 200	185 160 157 184	44.40	172 204 169 222	18.40	3.90
BGP 201	248 185 160 159	27.10	158 194 212 152	10.40	2.40
BGP 204	185 248 184 159	34.80	158 172 200 201	14.70	3.70
BGP 210	160 159 185 157	55.30	214 235 151 227	19.90	3.50
BGP 212	185 159 160 156	30.30	240 201 237 215	10.60	2.10
BGP 214	160 159 185 157	50.80	210 235 227 237	19.00	4.10
BGP 215	159 160 185 157	29.10	228 240 237 212	13.00	1.80
BGP 216	185 156 184 157	45.80	222 172 204 200	17.60	4.10
BGP 218	248 159 185 184	35.10	154 241 158 224	14.50	3.30
BGP 219	159 185 156 157	43.80	237 212 240 215	19.90	8.70
BGP 222	185 184 156 159	48.00	216 172 200 169	17.40	3.90
BGP 224	248 159 185 184	32.60	218 154 201 241	15.60	4.90
BGP 227	160 159 185 156	45.90	212 214 235 240	16.90	5.10
BGP 228	159 160 248 185	27.10	215 240 237 194	12.30	2.50
BGP 229	159 248 160 200	33.60	194 201 224 154	14.20	4.70
BGP 235	160 185 159 157	49.00	151 210 214 169	16.70	2.50
BGP 237	159 185 160 156	33.80	240 215 212 228	13.60	2.20
BGP 240	159 160 185 156	28.40	212 215 237 228	11.90	1.60
BGP 241	159 185 184 248	39.70	218 201 212 224	15.70	4.90
BGP 248	185 160 157 156	72.10	214 235 210 169	34.80	13.40

O último acesso avaliado, BGP 248, obteve maiores similaridades com os acessos BGP 219, BGP 218, BGP 210 e BGP 241 em relação aos caracteres biométricos de frutos

(Tabela 4). Enquanto que os mais divergentes foram os acessos BGP 151, BGP 152, BGP 159 e BGP 150. Esses, portanto, são os preferenciais para cruzamentos com o BGP 248, visto que apresentaram dissimilaridades acima da média geral (25.60) da diversidade desse genitor. Esses resultados reforçam a diversidade existente entre os acessos das diferentes procedências. Os acessos mais divergentes em relação ao BGP 248 (procedente de Luz) são todos procedentes de Santa Luzia (Figura 2), bem como, os mais similares que foram todos de sua mesma procedência (Luz).

**Tabela 4-** Acessos Menos e Mais similares relacionadas as variáveis biométricas do fruto para a diversidade genética entre acessos de acessos de macaúba, e suas respectivas médias, baseada na distância generalizada de Mahalanobis.

Acesso/Código do BAG	Acessos Menos Similares (BGP)	Média das distâncias	Acessos Mais Similares (BGP)	Média das distâncias	Média Geral
BGP 150	227 214 222 160	78.70	159 201 169 157	10.3	35.90
BGP 151	227 237 214 241	105.40	154 150 201 169	27.7	61.90
BGP 152	227 160 229 215	99.10	196 200 180 158	10.5	43.40
BGP 154	227 237 241 212	47.30	201 235 169 216	10.3	24.70
BGP 156	227 160 212 222	83.40	184 157 180 169	9.7	36.10
BGP 157	227 160 212 151	75.10	240 156 158 184	9.4	30.10
BGP 158	227 151 160 229	65.00	180 169 157 159	7.8	28.50
BGP 159	227 214 222 212	76.90	180 150 158 169	8.9	37.10
BGP 160	152 156 194 157	84.70	215 219 212 229	20.2	49.50
BGP 169	227 222 212 160	53.70	180 235 158 240	6.6	23.70
BGP 172	227 151 228 214	59.00	204 201 196 200	8.8	28.70
BGP 180	227 222 160 214	61.40	158 169 159 196	6	27.50
BGP 184	227 160 151 229	66.80	156 185 157 196	10.3	28.90
BGP 185	227 151 160 229	64.10	184 172 200 157	12.5	29.40
BGP 194	227 160 151 229	80.00	200 224 240 196	10.3	33.70
BGP 196	227 160 229 215	67.60	200 152 180 201	6.8	28.20
BGP 200	227 160 229 151	71.50	196 152 194 204	7.6	30.00
BGP 201	227 241 210 214	53.80	154 172 196 150	8.1	25.20
BGP 204	227 160 151 228	66.90	172 224 200 196	8.4	30.30
BGP 210	151 152 159 150	61.70	241 248 215 219	10.6	35.60
BGP 212	156 151 152 159	69.20	219 218 248 222	14.1	40.30
BGP 214	151 159 152 150	75.10	248 222 216 219	13.6	37.60
BGP 215	152 156 194 200	63.30	248 219 235 218	12	35.50
BGP 216	227 151 152 241	50.10	219 235 218 154	12.1	25.00
BGP 218	151 156 152 159	48.50	219 248 212 235	7.6	25.00
BGP 219	151 152 156 150	52.50	218 248 212 216	7.3	26.00
BGP 222	151 159 150 152	73.10	219 214 218 248	14.5	38.70
BGP 224	151 227 160 229	62.20	240 204 194 200	8.8	25.70
BGP 227	151 152 150 156	121.10	210 219 215 241	27	70.60
BGP 228	152 227 204 200	64.00	235 248 215 214	14.1	37.20
BGP 229	152 227 194 200	78.60	235 215 228 154	19.3	45.50
BGP 235	227 152 151 222	44.00	169 228 240 248	8.2	22.40
BGP 237	151 150 152 229	68.90	248 219 241 218	14.4	33.60
BGP 240	227 160 151 212	60.00	224 157 235 169	8.1	24.20
BGP 241	151 159 150 160	67.50	210 248 237 218	11.7	36.80
BGP 248	151 152 159 150	55.10	219 218 210 241	7.1	25.60

No entanto, também foi possível identificar por meio da análise preliminar dos três grupos de descritores (Tabelas 2, 3, 4 e Tabela suplementar 1), grande variabilidade genética entre acessos de mesmas procedências, ou seja, muitos acessos divergentes entre si igualmente advieram de matrizes de mesma origem geográfica. Esta informação possivelmente explica as discordâncias das dissimilaridades obtidas entre os materiais de origens geográficas similares. A identificação dos acessos mais e menos similares, por si só, é fundamental quando o melhorista deseja de imediato a informação sobre o padrão de dissimilaridade genética e sobre quais cruzamentos devem ser evitados e priorizados em programas de melhoramento (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

### **3.2. Agrupamentos e Cruzamentos Promissores**

A análise de agrupamento gerada pelo método de Tocher (Tabela 5), separou os 36 materiais genéticos de macaúba em onze grupos em relação aos caracteres vegetativos e seis grupos em relação aos caracteres produtivos e biométricos de frutos. Em geral, para todos os conjuntos de variáveis avaliadas, o método indicou que a distribuição dos materiais genéticos em diferentes grupos confirma a grande variabilidade existente entre os 36 acessos de macaúba cujas matrizes procedem de duas localidades diferentes de Minas Gerais (Luz e Santa Luzia). Para todos os conjuntos de variáveis, percebe-se uma maior concentração de acessos nos dois primeiros grupos e nos últimos houve formação de grupos isolados. De acordo com Bispo et al. (2020), o método de Tocher se baseia em um único critério de agrupamento com a particularidade de que a distância média intragrupo deve ser sempre menor que a distância média intergrupo definindo assim, seu padrão de agrupamento.

Para o conjunto das características vegetativas, observou-se no presente estudo a formação do maior número de grupos (11), em relação aos demais (produção e biometria do fruto). O grupo I reuniu nove acessos, enquanto que o grupo II obteve onze acessos, constituindo-se o grupo de maior número de acessos para o agrupamento referente aos descritores vegetativos. Esta técnica de agrupamento por meio da caracterização da diversidade genética, agrupa os acessos similares, de modo que as maiores diferenças ocorram entre os grupos formados. Cinco acessos se destacam por sua alta dissimilaridade e formaram grupos separados, onde três acessos (BGP 248; BGP 212 e BGP 224) de procedência Luz e dois acessos de Santa Luzia (BGP 150 e BGP 157) foram agrupados separadamente, demonstrando alta divergência entre si e entre os demais acessos. Coser et al. (2016), avaliando a diversidade de acessos pertencentes ao BAG-Macaúba por meio do agrupamento

de Tocher, relataram que apesar da alta similaridade entre a maioria dos genótipos de Minas Gerais, dois acessos se destacaram e formaram grupo separado para o conjunto de variáveis vegetativas estudadas.

**Tabela 5-** Agrupamento de 36 acessos de macaúba pelo método de otimização de Tocher baseado na distância de Mahalanobis para características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos.

Características Vegetativas										
Grupos	Acessos*									
I	BGP156	BGP184	BGP180	BGP204	BGP200	BGP196	BGP158	BGP169	BGP152	
II	<b>BGP210</b>	<b>BGP222</b>	<b>BGP227</b>	<b>BGP237</b>	<b>BGP214</b>	<b>BGP216</b>	<b>BGP218</b>	BGP159	<b>BGP228</b>	
	<b>BGP235</b>	BGP201								
III	<b>BGP229</b>	<b>BGP240</b>	<b>BGP241</b>	<b>BGP215</b>						
IV	BGP172	BGP185	BGP194							
V	BGP160	<b>BGP219</b>								
VI	BGP151	BGP154								
VII	BGP150									
VIII	<b>BGP248</b>									
IX	<b>BGP212</b>									
X	<b>BGP224</b>									
XI	BGP157									

Características Produtivas										
Grupos	Acessos									
	<b>BGP215</b>	<b>BGP228</b>	<b>BGP240</b>	<b>BGP237</b>	<b>BGP212</b>	BGP194	BGP201	BGP158	<b>BGP229</b>	BGP152
I	BGP196	BGP150	BGP154	<b>BGP218</b>	<b>BGP224</b>	<b>BGP241</b>	BGP204	BGP169	BGP172	<b>BGP227</b>
	<b>BGP222</b>	<b>BGP235</b>	<b>BGP216</b>	BGP151	BGP200	<b>BGP214</b>	<b>BGP210</b>	<b>BGP219</b>		
II	BGP156	BGP184	BGP185							
III	BGP160	BGP180								
IV	BGP159									
V	BGP157									
VI	<b>BGP248</b>									

Características Biométricas										
Grupos	Acessos									
	BGP196	BGP200	BGP152	BGP180	BGP158	BGP204	BGP172	BGP157	<b>BGP224</b>	BGP201
I	BGP169	<b>BGP240</b>	BGP156	BGP184	BGP150	BGP159	BGP154	<b>BGP235</b>	BGP185	<b>BGP216</b>
	BGP194									
II	<b>BGP218</b>	<b>BGP219</b>	<b>BGP248</b>	<b>BGP212</b>	<b>BGP215</b>	<b>BGP210</b>	<b>BGP241</b>	<b>BGP237</b>	<b>BGP214</b>	<b>BGP222</b>
III	<b>BGP228</b>	<b>BGP229</b>								
IV	BGP160									
V	BGP151									
VI	<b>BGP227</b>									

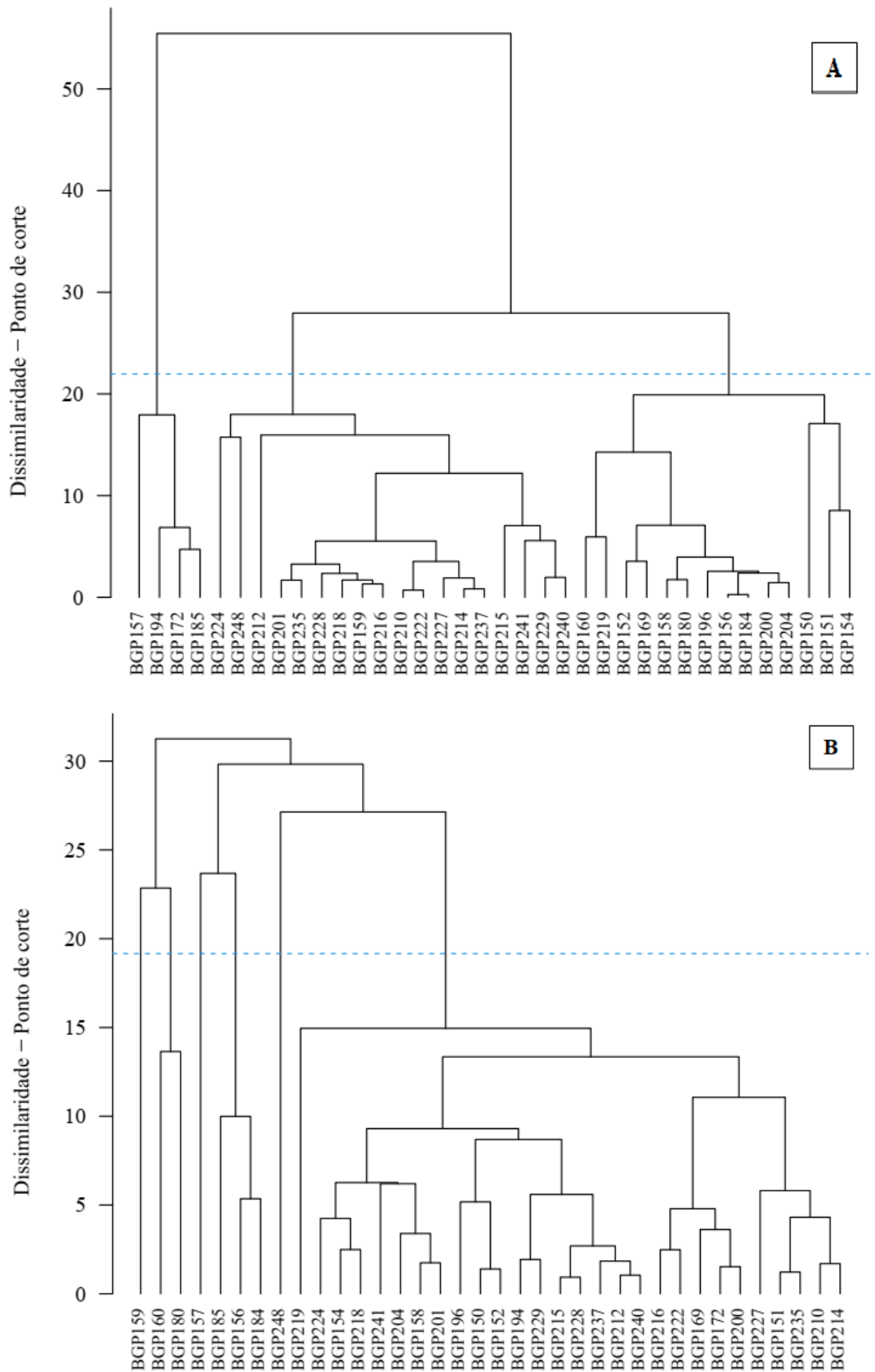
\*Texto normal: acessos procedentes de matrizes de Santa luzia; Texto em negrito: acessos procedentes de matrizes de Luz.

Em relação às características produtivas, houve a formação de seis grupos totais (Tabela 5). O grupo I se destacou por reunir 28 acessos em um mesmo grupo e representou 78% dos materiais genéticos. Apesar desse maior grupo ser constituído por acessos de ambas as diferentes origens geográficas de Minas Gerais, por este método eles foram considerados os mais similares. Neste contexto deve ser evitado o cruzamento entre eles, uma vez que a possibilidade de obtenção de híbridos com maior variabilidade é reduzida. Os demais grupos formados reuniram acessos de mesmas procedências ressaltando a similaridade genética entre o conjunto desses materiais. Semelhantemente, para Oliveira et al. (2012), as populações de macaúba da região Norte de Minas apresentaram altos níveis de diversidade genética enquanto que as populações geograficamente próximas eram geneticamente similares.

Foi verificado a formação de seis grupos para a análise relacionada aos caracteres biométricos de frutos, com mais de 50% dos materiais genéticos reunidos no grupo I com 21 acessos. Discriminar os materiais genéticos mais dissimilares é importante para geração de indivíduos com maior variabilidade. Assim, cruzamentos entre acessos do grupo I com os demais acessos dos diferentes grupos (II, III, IV, V e VI) devem ser priorizados. Isso garantirá que o fenômeno da heterose venha a se manifestar em seus híbridos e assim obter sucesso no programa de melhoramento de macaúba.

Os grupos I que obtiveram maior número de acessos nos conjuntos de variáveis produtivas e biométricas de frutos, englobaram materiais de ambas as procedências, reunindo 28 e 21 acessos, respectivamente. Os resultados demonstram que independentemente da procedência, houve similaridade genética entre específicos acessos de Luz e Santa Luzia para estas características. Essa semelhança pode estar associada a possíveis relações de parentesco entre os materiais das diferentes procedências e que por algum motivo foram distanciados geograficamente devido a ocorrência de fluxo gênico garantidos por eventos de dispersão das sementes, mecanismos de reprodução da espécie, cruzamento entre indivíduos aparentados, mobilidade de pólen, entre outros (ARAÚJO et al., 2017; LANES et al., 2016). Mengistu; Motoike e Cruz (2016), reforçam a necessidade de pesquisas que possam esclarecer a natureza do fluxo gênico e da estrutura populacional de macaúba nas investigações sobre similaridade encontrada entre procedências geográficas distantes e vice-versa.

A Figura 3 apresenta os dendrogramas obtidos pelo método UPGMA, baseado na distância de Mahalanobis para caracteres vegetativos e produtivos. O estudo do agrupamento por UPGMA mede a dissimilaridade existente entre os acessos, nos quais permite separá-los de maneira hierarquizada à medida que são considerados indivíduos significativamente divergentes (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).



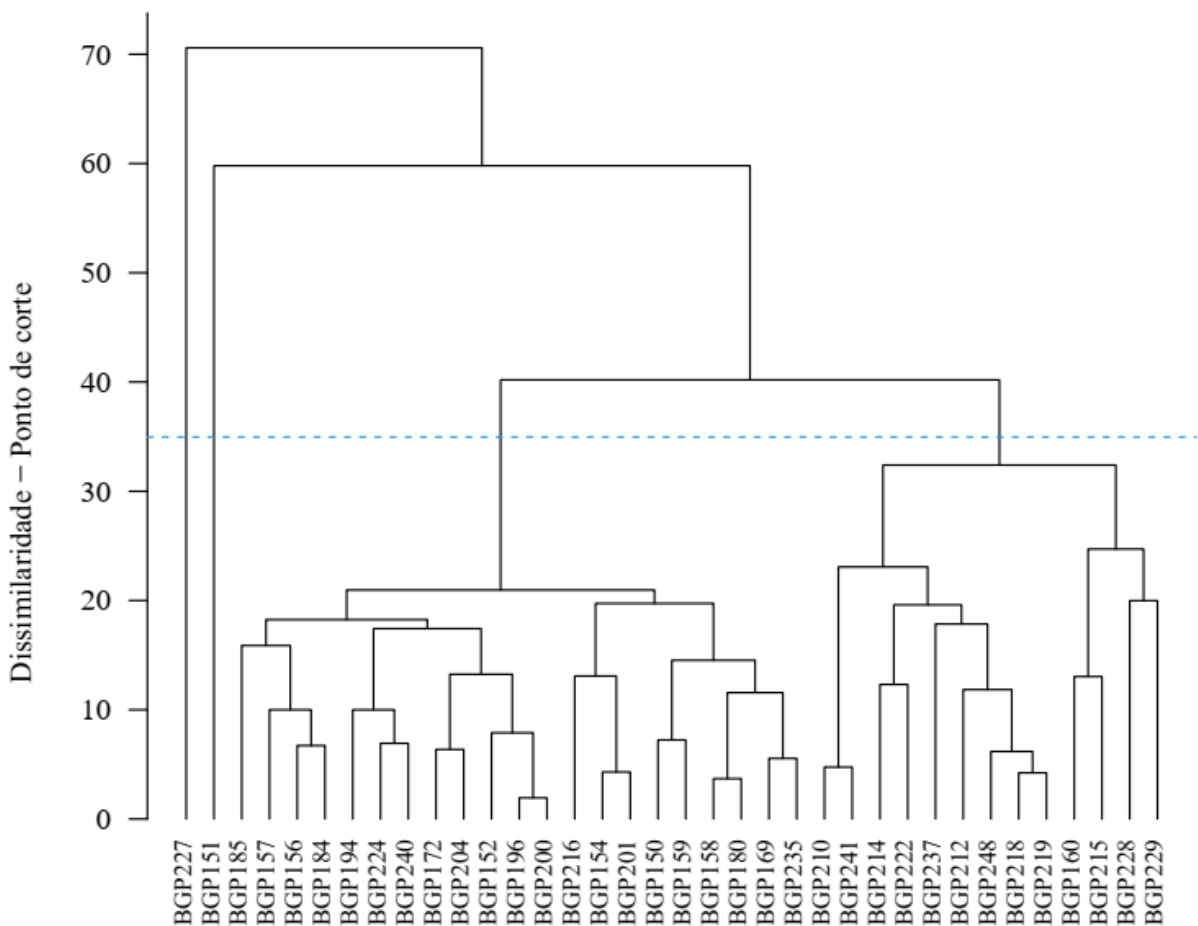
**Figura 3-** Dendrograma formado pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis para características vegetativas (A) e produtivas (B) de 36 acessos de macaúba.

Para as características vegetativas verificou-se a formação de três grupos pelo método UPGMA (Figura 3A). Baseando-se no valor referencial de corte pelo critério de Mojena (1977), e como regra de parada na definição do número de grupos valor de  $k=1.25$ , sugerido por Milligan e Cooper (1985), o corte do dendrograma foi feito a distância de 21.96, que corresponde a 39.60% do valor da distância no último nível de fusão. O grupo I reuniu os acessos BGP 157, BGP 194, BGP 172 e BGP 185, todos eles de mesma procedência (Santa Luzia). O grupo II foi constituído por 18 acessos representados em sua maioria pelos procedentes de Luz, com exceção do BGP 201 e BGP 159, que apresentaram certa similaridade significativa com os demais. O último grupo reuniu 14 acessos, sendo 13 originados da região de Santa Luzia e um único de Luz, representado pelo acesso BGP 219. Para o conjunto de variáveis vegetativas observou-se tendência de agrupamento dos acessos de mesmas procedências geográficas para ambos os métodos de dissimilaridade Tocher e UPGMA. Sá et al. (2021), utilizando o método UPGMA, também observaram tendência no agrupamento dos acessos de macaúba pertencentes ao BAGMC-Embrapa de acordo com suas origens geográficas.

Em relação as características produtivas, o agrupamento UPGMA formou seis grupos conforme o corte do dendrograma a distância 19.16 correspondente a 61.30% em relação a dissimilaridade do último nível de fusão. Neste método, o agrupamento dos acessos para esse conjunto de variáveis, apresentou-se semelhante ao método de Tocher, separando os mesmos acessos de suas respectivas origens geográficas em seis grupos (Figura 3B e Tabela 5). O primeiro grupo com somente o BGP 159 oriundo de Santa Luzia (Figura 3B), o seguinte grupo reuniu os acessos BGP 160 e BGP 180, e o terceiro grupo formou-se também de apenas um acesso (BGP 157). O grupo IV reuniu os acessos BGP 185, BGP 156 e BGP 184, ambos os grupos com todos os acessos também procedentes de Santa Luzia. Já o grupo V formou-se de um acesso BGP 248, este provindo da região Luz. Os demais 28 acessos, pertencentes a ambas procedências, foram reunidos no último grupo, apontando baixa correspondência entre as procedências dos acessos e a dissimilaridade genética. Estes resultados corroboram com Da Conceição et al. (2015), que avaliando a diversidade genética de populações de macaúba com base em caracteres físicos de frutos e teor de óleo, obteve a formação do maior grupo com genótipos de mais de uma procedência regional.

Com o corte do dendrograma feito a distância 34.97 que corresponde 49.54% em relação a dissimilaridade do último nível de fusão, o agrupamento dos acessos referentes as características biométricas dos frutos, apresentou formação de quatro grupos (Figura 4). O grupo I e o II, constituíram-se de um único acesso, BGP 227 e BGP 151, respectivamente.

Este mesmo comportamento de isolamento desses acessos, pôde ser observado pelo método de Tocher. O grupo III reuniu a maioria dos acessos considerados no estudo (21 acessos), e o grupo IV com 12 acessos procedentes da região de Luz e apenas um acesso de Santa Luzia (BGP 160), diferente do agrupamento de Tocher que isolou este último em um grupo separado (Tabela 5). Estes diferentes grupos formados indicam significativas divergências genéticas entre eles, importante no estudo da diversidade devido a estratégias adequadas que garantem hibridações desejáveis concentrando esforços em cruzamentos entre genitores divergentes. A partir destes cruzamentos é possível obter o vigor híbrido por meio da heterose desejável em busca das características morfoagronômicas superiores, respostas de suas complementaridades gênica que são importantes para o pré-melhoramento genético da macaúba (MANFIO et al., 2012).

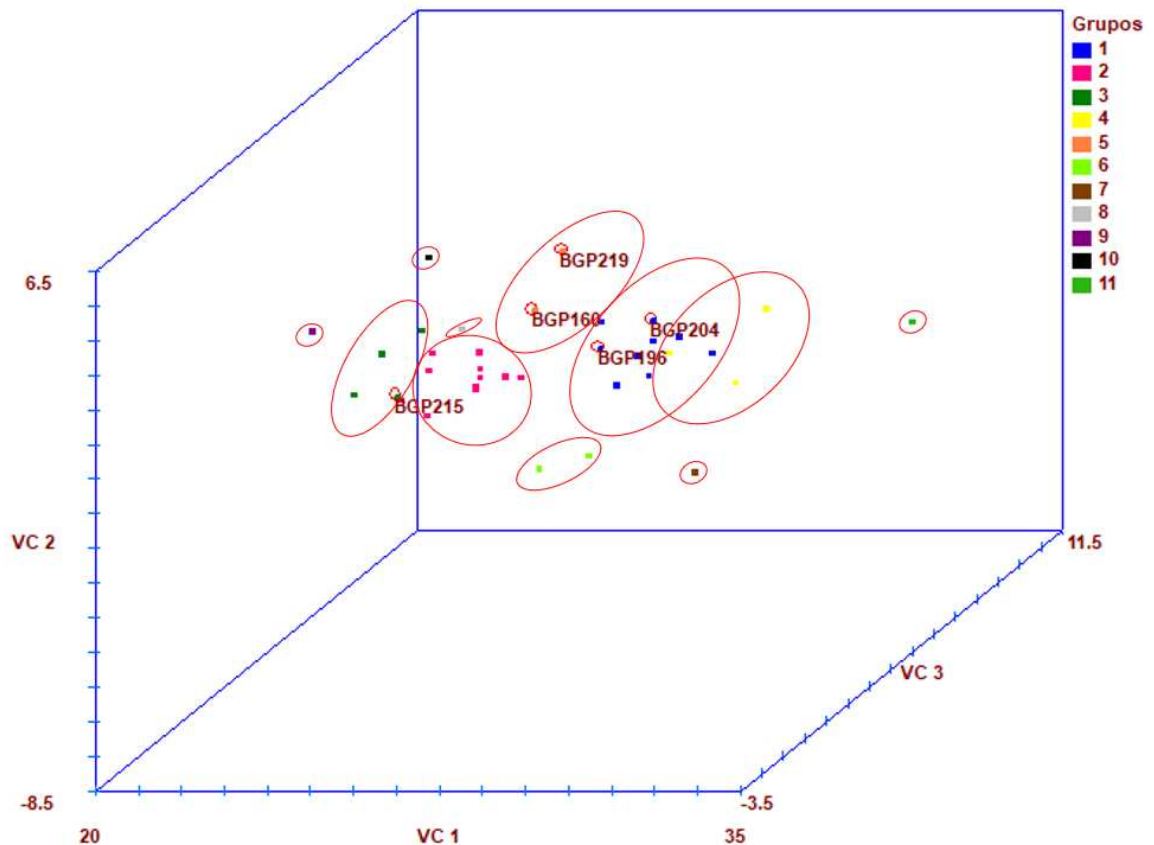


**Figura 4-** Dendrograma formado pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis para características biométricas de frutos de 36 acessos de macaúba.

A utilização da análise multivariada, baseados em dispersão gráfica para estudos da divergência genética, possibilita a identificação de materiais genéticos similares ou não em gráficos de dispersão bi ou tridimensionais e sua viabilidade está restrita a concentração da variabilidade existente entre as primeiras variáveis canônicas (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). A técnica por VC além de estudar a diversidade genética e a importância dos caracteres nas primeiras variáveis canônicas, proporciona uma maior simplificação dos dados por meio da visualização gráfica das distâncias entre os acessos e os agrupamentos formados.

A Figura 5 apresenta o gráfico da projeção tridimensional em que são considerados simultaneamente os eixos representativos das três primeiras variáveis canônicas relacionadas as características vegetativas da macaúba. A projeção de copa (PC) foi a característica importante para a variável canônica 1 (VC1) que explica 68.61% da variação total. O número de folhas fotossintetizantes (NFF) foi importante para a variável canônica 2 (VC2), que explica 11.64% da variação, enquanto que a precocidade (PREC) foi a que mais contribuiu para a variável canônica 3 (VC3) que é importante para a diversidade 10.40%. As três primeiras variáveis canônicas juntas são suficientes para a discriminação dos acessos, e apresentam 90.66% da variação total disponível (Tabelas suplementares 2 e 3). Estes resultados corroboram com os encontrados por Coser et al. (2016), onde obtiveram cerca de 92% da variação total observada nos três primeiros componentes principais avaliados em caracteres vegetativos de macaúba, sendo a área de copa da planta destacada como a característica mais importante para os dois primeiros componentes principais (74.38%).

O gráfico ainda apresenta a existência de onze grupos de acessos formados, classificados de acordo com o agrupamento de Tocher, onde pôde ser verificado a aproximação dos acessos mais similares conforme o grupo manifestado. Adicionalmente também foi possível destacar os cinco acessos mais precoces considerados pela análise de variáveis canônicas e coerentes com o teste de médias (Figura suplementar 1). Esta informação univariada em um gráfico de análise multivariada possibilita inferir sobre possíveis cruzamentos que podem ser estabelecidos, considerando a característica de precocidade dos acessos como interesse no programa de melhoramento da espécie. Desse modo o gráfico apresenta uma informação importante, pois além de identificar os acessos bons ele também está contemplando a diversidade genética dos materiais.



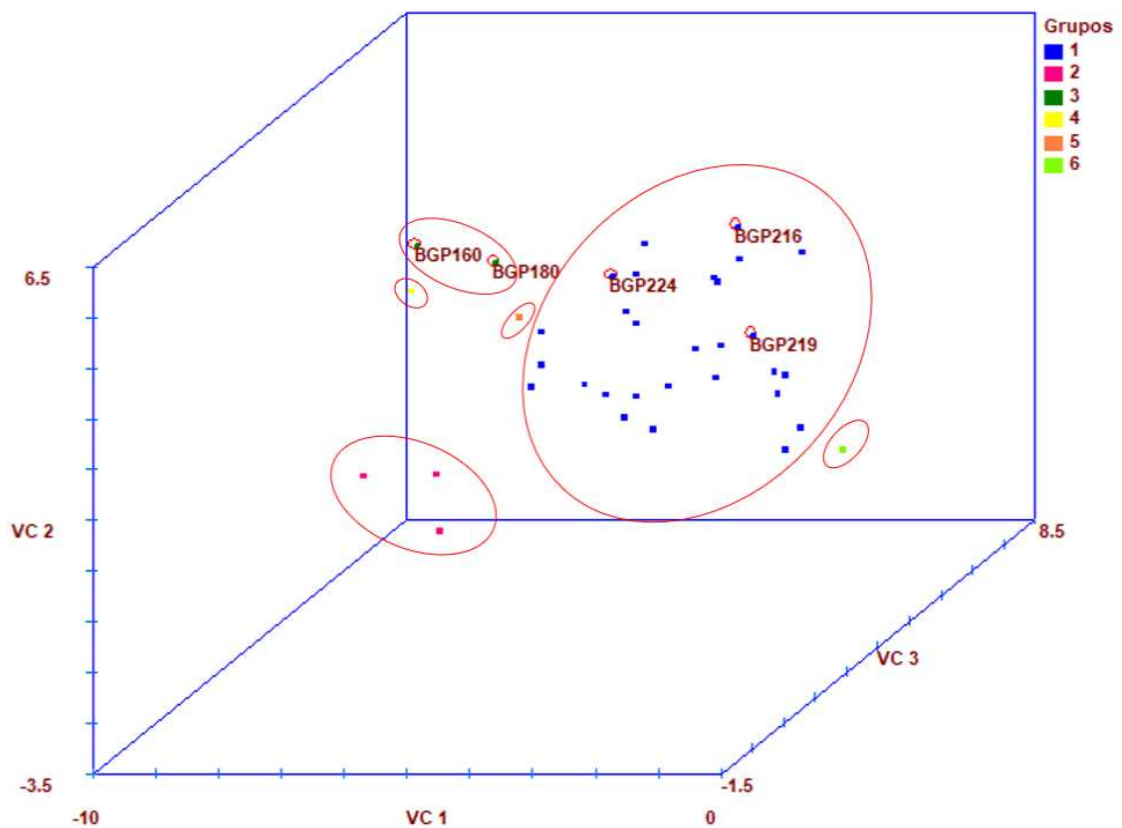
**Figura 5-** Projeção 3D das três primeiras variáveis canônicas para características vegetativas de 36 acessos de macaúba. Em destaque os cinco acessos mais precoces. Acessos de mesma cor estão caracterizados de acordo com o Agrupamento de Tocher.

Os acessos bons e similares foram destacados como sendo o BGP 219 e BGP 160 pertencentes ao mesmo grupo V do agrupamento de Tocher, e também os acessos BGP 204 e BGP 196 pertencentes ao grupo I. Já o acesso BGP 215 pertencente ao grupo III pelo agrupamento de Tocher, além de ser considerado bom por sua precocidade de produção, também é divergente com os demais acessos precoces. Estes resultados obtidos permitem recomendar sobre a escolha dos parentais a serem intercruzados considerando diversidade e precocidade, assim os cruzamentos indicados encontram-se na Tabela 6.

Pela análise de agrupamento baseado nas variáveis canônicas relativas as características produtivas, a MCV, o TOP e o POP foram as que mais contribuíram para as três primeiras variáveis canônicas com importância de 41.24% para VC1, 21.42% para VC2 e 13.72% para VC3 e explicam próximo de 80% da variação total disponível (Tabelas suplementares 2 e 3), sendo satisfatória a análise da diversidade genética por meio da projeção gráfica. A análise foi complementada pela dispersão gráfica (Figura 6), referente as três primeiras variáveis canônicas. Assim, a projeção 3D representada permitiu inferir sobre o padrão de dissimilaridade dos acessos e os separou em seis grupos concordando com os

resultados obtidos pelos métodos de Tocher e UPGMA (Tabela 5 e Figura 3). Mengistu; Motoike; Cruz (2016), também relataram consistência da análise de dispersão gráfica por coordenadas principais com os demais métodos de agrupamentos utilizados (UPGMA e Tocher) ao avaliarem a diversidade genética por marcadores moleculares de 192 acessos do BAG-Macaúba.

Observa-se graficamente a tendência de aproximação dos acessos que compõem um mesmo grupo, principalmente os materiais genéticos destacados em azul que são em maioria e todos pertencentes ao grupo I, segundo metodologia de Tocher. Destaque para o grupo II, identificado em cor rosa e representado pelos acessos BGP 156, BGP184 e BGP 185 de Santa Luzia (Tabela 5). Esse grupo apresentou uma boa separação espacial dos outros grupos, indicando maior divergência. Em geral, a dispersão gráfica representou bem a formação dos seis grupos de similaridade como já foi relatado pelos demais métodos de agrupamento.



**Figura 6-** Projeção 3D das três primeiras variáveis canônicas para características produtivas de 36 acessos de macaúba. Em destaque os cinco acessos mais produtivos. Acessos de mesma cor estão caracterizados de acordo com o Agrupamento de Tocher.

A análise gráfica indicou também os materiais que apresentaram maiores produções de óleo por planta (Figura 6 e Figura suplementar 2). Esses acessos mais produtivos destacados e identificados no gráfico pertencem aos grupos I (BGP 219, BGP 224 e BGP 216) e III (BGP

160 e BGP 180) pela classificação do agrupamento de Tocher. As informações sobre os materiais genéticos que apresentam melhor desempenho produtivo relacionados ao tamanho e porcentagem de óleo dos frutos são de grande importância, visto que fornecem subsídios para a seleção de acessos preferenciais escolhidos como genitores eficientes em estudos de melhoramento (REIS et al., 2019). No presente estudo verifica-se que os acessos dentro do mesmo grupo são considerados geneticamente similares entre si, desta forma, objetivando diversidade e produtividade para direcionar futuros cruzamentos, indica-se os devidos parentais informados na Tabela 6.

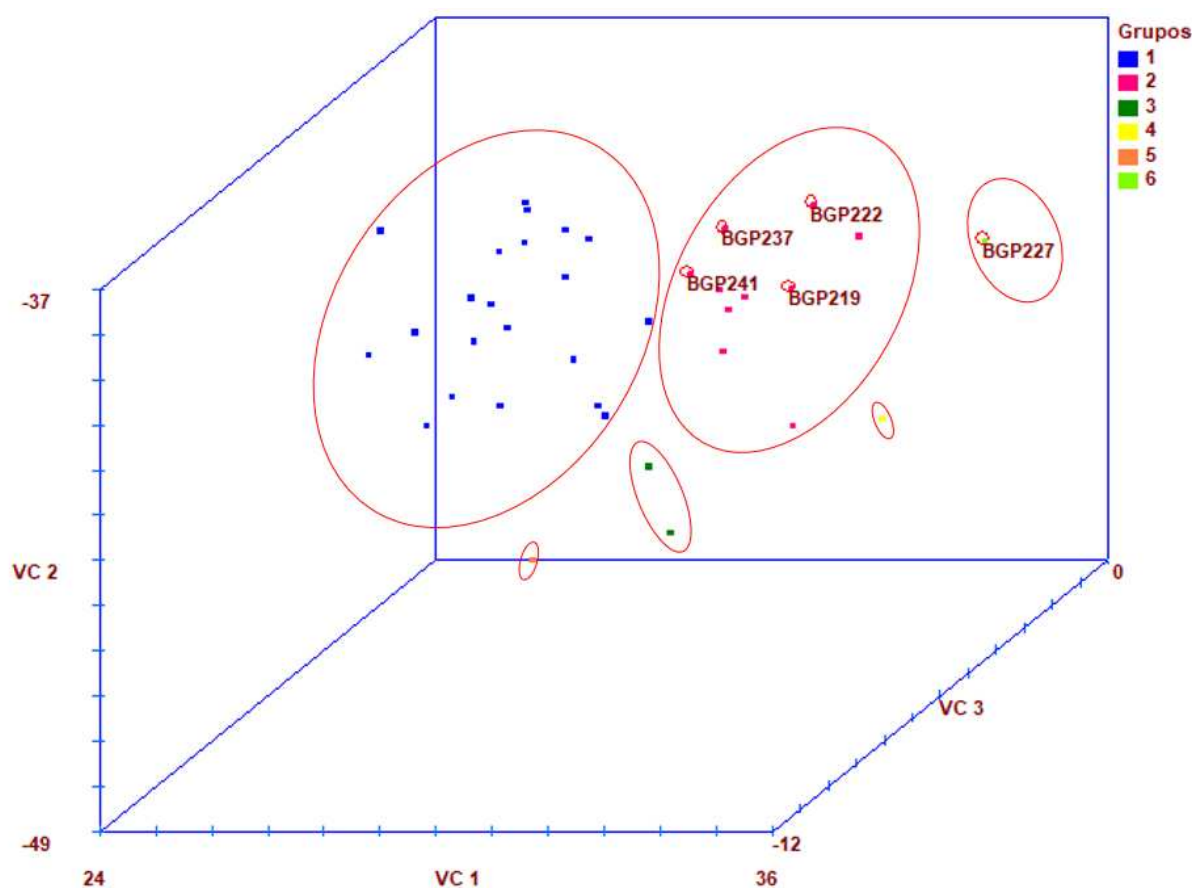
**Tabela 6-** Cruzamentos promissores considerando a diversidade e os melhores acessos de acordo com as características avaliadas em 36 acessos de macaúba.

Descrição das características	Sigla	Cruzamentos: BGP A (♀ ou ♂) x BGP B (♀ ou ♂)		
		A	B	
Precocidade	PREC	BGP 219	x	BGP 204
		BGP 219	x	BGP 196
		BGP 219	x	BGP 215
		BGP160	x	BGP 196
		BGP 160	x	BGP 204
		BGP 160	x	BGP 215
		BGP 204	x	BGP 215
		BGP 196	x	BGP 215
Produção de óleo por planta	POP	BGP 160	x	BGP 219
		BGP 160	x	BGP 224
		BGP 160	x	BGP 216
		BGP 180	x	BGP 219
		BGP 180	x	BGP 224
		BGP 180	x	BGP 216
Massa seca de polpa	MSP	BGP 227	x	BGP 237
		BGP 227	x	BGP 241
		BGP 227	x	BGP 222
		BGP 227	x	BGP 219

A Figura 7 apresenta a projeção gráfica das três primeiras variáveis canônicas relacionadas as características biométricas dos frutos. Para esse conjunto de variáveis percebe-se claramente o afastamento espacial dos acessos isolados e classificados em diferentes grupos pelo método de Tocher: acessos BGP 160, BGP 151 e BGP 227, destacados em amarelo, laranja e verde claro, respectivamente. O grupo I, representado pela cor azul, compõem a maior parte dos acessos, independentemente da região de procedência. No entanto, o grupo II (rosa) e o III (verde escuro), contam com todos os acessos procedentes da

região Luz com maior tendência de agrupamento entre os acessos de mesmas origens geográficas, mais especificamente para esta localidade da matriz. Este comportamento também foi observado por Bazzo et al. (2018) ao relatarem que os agrupamentos genéticos distintos foram de acordo com a localização geográfica sendo um grupo formado por todos genótipos de macaúba procedentes da região de Luz (Minas Gerais).

Os dados das variáveis canônicas permitiram verificar que a variação acumulada encontrada nas três primeiras variáveis canônicas explicou 72.79% da totalidade da variação dos 36 acessos de macaúba analisados com base nas características biométricas dos frutos. O DLF e MFP foram as características que mais contribuíram para as três primeiras variáveis canônicas, com a importância de 39.74% para a VC1, 21.15% para a VC2 e 11.90% para a VC3 (Tabela suplementar 2 e 3); logo, para este conjunto de variáveis houve uma leve distorção gráfica das distâncias genéticas devido a uma menor captura da variação pelas três primeiras variáveis canônicas.



**Figura 7-** Projeção 3D das três primeiras variáveis canônicas para características biométricas de frutos de 36 acessos de macaúba. Em destaque os cinco acessos de maior massa seca da polpa. Acessos de mesma cor estão caracterizados de acordo com o Agrupamento de Tocher.

Para a variável MSP, a maioria dos melhores acessos se concentraram no grupo II (BGP 219, BGP 222, BGP 237 e BGP 241), sendo estes geneticamente similares entre si; por outro lado, o acesso BGP 227 também se destacou para massa de polpa, este, porém isolado em um único grupo pelo método de Tocher (Figura 7 e Figura suplementar 3). Assim, considerando diversidade genética e maiores massas de polpa seca para obtenção de óleo, recomenda-se o cruzamento dos parentais indicados na Tabela 6.

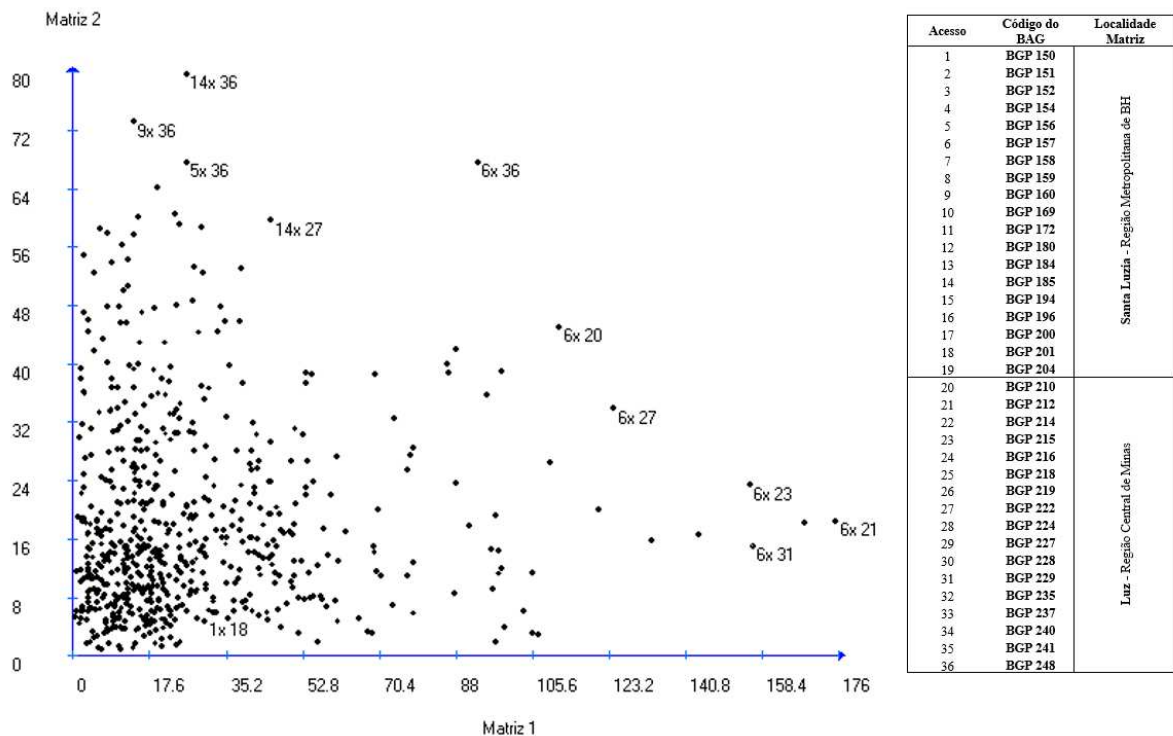
### **3.3. Consistência da diversidade entre os descritores estudados**

Os dados das três matrizes de distâncias baseada nas variáveis morfoagronômicas foram submetidos ao teste de significância de Mantel, a fim de verificar a consistência da diversidade entre os grupos de variáveis. Para isto, foram gerados gráficos de dispersão da correlação entre a matriz de distância das variáveis vegetativas e a matriz de distância das variáveis produtivas (Figura 8) e da correlação entre a matriz de distância das variáveis vegetativas e a matriz de distância das variáveis biométricas de frutos (Figura 9). Sobre a correlação entre a matriz de distâncias das variáveis produtivas e a matriz de distâncias das variáveis biométricas de frutos não houve significância pelo referido teste.

Para as matrizes de distâncias vegetativas e produtivas, a correlação entre as estimativas obtidas foi de 0.0281, significativa a 5% pelo teste de Mantel (Figura 8). O resultado apesar de significativo, indica baixa concordância entre as divergências genéticas dos dois grupos de variáveis estudadas, o que pôde ser conferido também nos resultados apresentados anteriormente, quando se observa diferenças na alocação dos acessos referente aos agrupamentos formados (Tabela 5 e Figura 3).

Observa-se no gráfico de dispersão que para os dois grupos de variáveis supracitados houveram pares de acessos de comportamento semelhantes, que apresentaram baixos valores de distâncias em ambas as matrizes de dissimilaridade (cada ponto representa um par de acessos medido pela distância de Mahalanobis) nos quais se mostraram similares entre si (BGP 150 x BGP 201). No entanto, houveram pares de acessos que para a matriz 1 (variáveis vegetativas) foram similares mesmo sendo materiais de diferentes procedências, enquanto que para a matriz 2 (variáveis produtivas) apresentaram-se como divergentes entre si (BGP 160 x BGP 248, BGP 185 x BGP 248, BGP 156 x BGP 248). Os acessos indicados como muito divergentes entre si para a matriz 1 e mais similares apresentando as menores distâncias

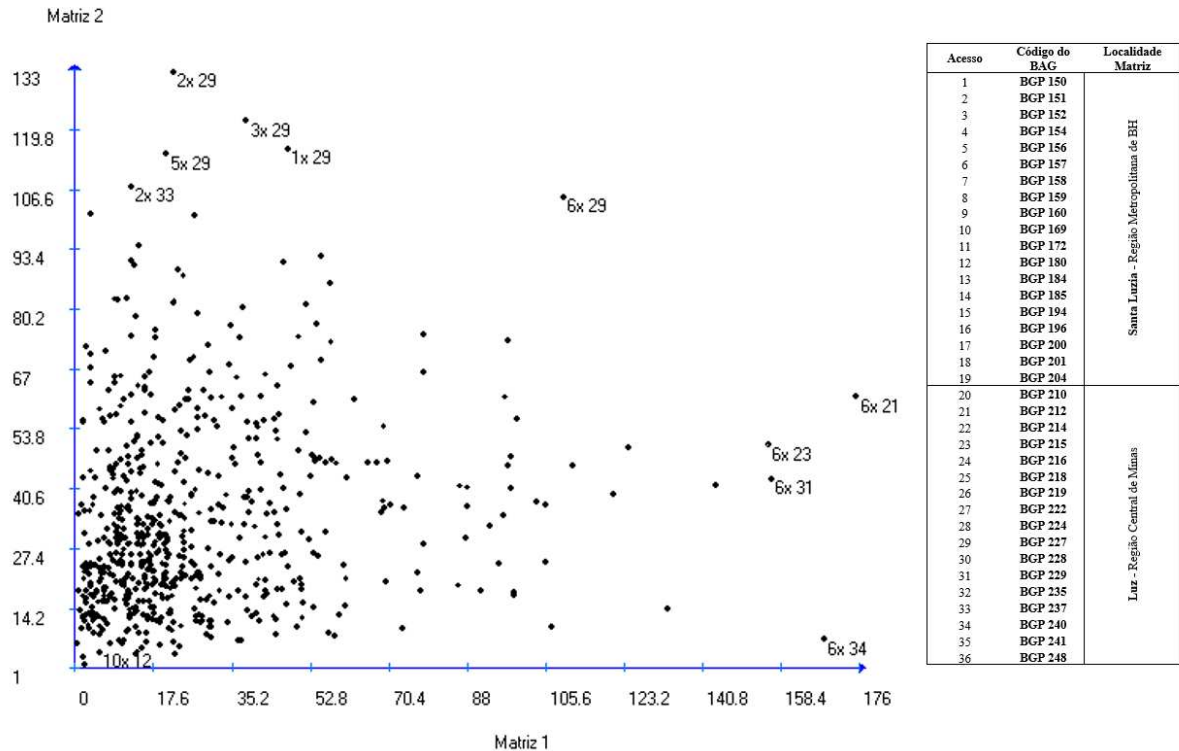
obtidas na matriz 2, são principalmente os BGP 157 x BGP 212, BGP 157 x BGP 229, BGP 157 x BGP 215.



**Figura 8-** Dispersão Gráfica da correlação entre a matriz de distância das variáveis vegetativas (matriz 1) e produtivas (matriz 2) a partir de 5000 simulações e nível de 5% de significância pelo teste de Mantel.

De semelhante comportamento gráfico, também houve baixa concordância entre as duas medidas de distâncias relacionadas as variáveis vegetativas e biométricas de frutos, apresentando correlação de 0.1499 significativa a 1% pelo teste de Mantel (Figura 9). Entretanto, algumas concordâncias foram observadas e aglomerados pares de acessos foram verificados na parte inferior esquerda do gráfico, indicando serem pares similares entre si tanto para a matriz 1 (vegetativas) quanto para a matriz 2 (biométricas), bem como, para o par de acessos BGP 157 x BGP 227 considerados divergentes entre si para ambos os grupos de variáveis.

Os pares de acessos BGP 151 x BGP 227, BGP 152 x BGP 227, BGP 156 x BGP 227, BGP 151 x BGP 237 e BGP 150 x BGP 227, apresentaram-se como os mais divergentes na matriz das variáveis biométricas e como similares na matriz das variáveis vegetativas. Enquanto que os pares BGP 157 x BGP 240, BGP 157 x BGP 229, BGP 157 x BGP 215 e BGP 157 x BGP 212 foram os mais divergentes na matriz das variáveis vegetativas e menos divergentes na matriz das variáveis biométricas.



**Figura 9-** Dispersão Gráfica da correlação entre a matriz de distância das variáveis vegetativas (matriz 1) e biométricas (matriz 2) a partir de 5000 simulações e nível de 1% de significância pelo teste de Mantel.

Esses resultados discordantes encontrados em ambos os gráficos de correlação entre as matrizes de dissimilaridade (Figuras 8 e 9) podem estar relacionados com a baixa relação linear existente entre os caracteres estudados. Plantas mais altas ou com maiores diâmetros de estipe não indicam necessariamente que serão as que produziram numerosos frutos ou ainda, aquelas plantas precoces e com mais quantidade de folhas podem não ser as mesmas que obtiveram as maiores massas de fruto. Os caracteres produtivos e biométricos de frutos são mais susceptíveis à carga ambiental e podem ter influenciado na magnitude da correlação destas com as vegetativas. Segundo Coelho et al. (2019), características biométricas de tamanho e peso dos frutos, que refletirão na produção da palmeira macaúba, são os mais correlacionados aos fatores ambientais vigentes.

Em geral, apesar da baixa correspondência entre as matrizes de dissimilaridades avaliadas, é importante destacar que em ambas as dispersões gráficas (Figuras 8 e 9), foi possível notar que os pares de acessos BGP 157 x BGP 215, BGP 157 x BGP 212 e BGP 157 x BGP 229, surgem como acessos divergentes entre si para a matriz de dissimilaridade correspondente as características vegetativas e considerados similares tanto para a matriz correspondente as características produtivas quanto para as características biométricas. Contudo, não é recomendado o cruzamento entre eles ao se considerar variabilidade genética dentro desses dois últimos grupos de variáveis.

#### 4. CONCLUSÃO

Foi possível por meio deste estudo identificar os acessos de macaúba mais e menos similares, informação inicial fundamental quando se deseja de forma imediata orientar cruzamentos em que há diversidade genética entre os genitores estudados.

O agrupamento formado pelo método de Tocher, UPGMA e projeção 3D por variáveis canônicas foram eficientes ao avaliar a diversidade e demonstraram ampla dissimilaridade genética entre os acessos de macaúba procedentes das duas regiões de Minas Gerais.

Os métodos utilizados agruparam os 36 acessos em 11 grupos para características vegetativas e 6 grupos para características produtivas e biométricas de frutos no Tocher, enquanto que por UPGMA, formou-se 3 grupos para características vegetativas, 6 grupos para características produtivas e 4 grupos para as biométricas de frutos. Assim, deve-se priorizar cruzamentos entre acessos destes diferentes grupos.

Para todos os grupos de variáveis estudados, as três primeiras variáveis canônicas foram suficientes para captarem próximo de 80% da variação total existente, sendo satisfatória a análise de diversidade genética por meio da projeção 3D por variáveis canônicas.

Em geral, de acordo com a análise da diversidade por projeção 3D associado ao agrupamento de Tocher e a informação dos melhores acessos em relação aos caracteres destacados, pode-se inferir sobre possíveis cruzamentos para o programa de melhoramento da macaúba, indicando-se os seguintes: BGP 160 x BGP 196; BGP 160 x BGP 204; BGP 160 x BGP 215; BGP 160 x BGP 224; BGP 160 x BGP 216 e BGP 180 x BGP 219.

As correlações das matrizes de dissimilaridade indicaram baixa correspondência entre as divergências genéticas das variáveis vegetativas, produtivas e biométricas de frutos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. R. G. et al. Fine-scale spatial genetic structure and gene flow in *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): Analysis in an overlapping generation. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 71, p. 147–154, 2017.

BAZZO, B. R. et al. Development of novel EST-SSR markers in the macaúba palm (*Acrocomia aculeata*) using transcriptome sequencing and cross-species transferability in Arecaceae species. **BMC Plant Biology**, v. 18, n. 1, p. 1–11, 2018.

BISPO, R. B. et al. Genetic divergence among *Mauritia flexuosa* L . f . genotypes based on seed and fruit morphometry. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 585–590, 2020.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2017.

COELHO, R. M. et al. Non-biotic factors determining plasticity of the prospective oil-rich macauba palm (*Acrocomia aculeata*). **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 3, p. 771–782, 2019.

COLOMBO, C. A. et al. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL**, v. 25, n. 1, p. 9, 2018.

COSER, S. M. et al. Breeding of *Acrocomia aculeata* using genetic diversity parameters and correlations to select accessions based on vegetative, phenological, and reproductive characteristics. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 4, 2016.

COSTA, A. M. et al. Genetic parameters and selection of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) accessions: an alternative crop for biofuels. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 259–266, 2018.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547–552, 2016.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; BHERING, L. L. Biometry in plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, n. Special Issue, p. 1–11, 2021.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 2. ed. Viçosa: Suprema, 2020.

DA CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. et al. Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. **BMC Research Notes**, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2015.

DÍAZ, B. G. et al. Genome-wide SNP analysis to assess the genetic population structure and diversity of *Acrocomia* species. **PLoS ONE**, v. 16, n. 7, p. e0241025, 2021.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987.

FERNÁNDEZ-COPPEL, I. A. et al. Life cycle analysis of macauba palm cultivation: A promising crop for biofuel production. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 556–566,

2018.

IAL (INSTITUTO ADOLF LUTZ). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos - 4ª Edição, 1ª Edição Digital**. Disponível em: <[https://www.academia.edu/15369554/Livro\\_-\\_Metodos\\_fisico-quimicos\\_para\\_analise\\_de\\_alimentos\\_IV](https://www.academia.edu/15369554/Livro_-_Metodos_fisico-quimicos_para_analise_de_alimentos_IV)>. Acesso em: 11 jun. 2020.

LANES, É. C. M. et al. Molecular Characterization and Population Structure of the Macaw Palm , *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), Ex Situ Germplasm Collection Using Microsatellites Markers. **Journal of Heredity**, v. 106, n. 1, p. 102–112, 2015.

LANES, É. C. M. et al. Mating System and Genetic Composition of the Macaw Palm (*Acrocomia aculeata* ): Implications for Breeding and Genetic Conservation Programs. **Journal of Heredity**, v. 107, n. 6, p. 527–536, 2016.

LIMA, N. E. DE et al. A review of the palm genus *Acrocomia*: Neotropical green gold. **Organisms Diversity and Evolution**, v. 18, n. 2, p. 151–161, 2018.

MANFIO, C. E. et al. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 1, p. 70–76, 2011.

MANFIO, C. E. et al. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 63–68, 2012.

MENGISTU, F. G.; MOTOIKE, S. Y.; CRUZ, C. D. Molecular characterization and genetic diversity of the macaw palm ex situ germplasm collection revealed by microsatellite markers. **Diversity**, v. 8, n. 4, p. 20, 2016.

MILLIGAN, G. W.; COOPER, M. C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. **Psychometrika**, v. 50, n. 2, p. 159–179, 1985.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359–363, 1977.

MONTOYA, S. G. et al. Viability of a macauba palm–*Brachiaria* grass intercropping system as an alternative to agroforestry production. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 4, 2021.

MOTOIKE, S. Y. et al. **A cultura da macaúba implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa: Editora UFV, 2013.

OLIVEIRA, D. A. et al. Genetic diversity in populations of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) in the northern region of Minas Gerais, Brazil. **Genetics and molecular research**, v. 11, n. 1, p. 531–538, 2012.

PIRES, T. P. et al. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200–210, 1 jan. 2013.

REIS, E. F. dos et al. Characteristics of 137 macaw palm (*Acrocomia aculeata*) fruit accessions from Goiás, Brazil. **Comunicata Scientiae**, v. 10, n. 1, p. 117–124, 2019.

ROSADO, R. D. S. et al. Genetic parameters and simultaneous selection for adaptability and stability of macaw palm. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 291–296, 2019.

SÁ, S. F. DE et al. Caracterização Físico-Oleífera De Frutos De Genótipos De Macaúba Conservados Em Banco De Germoplasma. **Agrotrópica (Itabuna)**, v. 31, n. 1, p. 37–44, 2019.

SÁ, S. F. DE et al. Genetic diversity via REML-BLUP of ex situ conserved macauba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] ecotypes. **Genetic Resources and Crop Evolution**, p. 1–12, 2021.

SILVA, L. C. C. et al. Genetic Diversity and Structure of Macaw Palm: Implications for Genetic Variability Sampling. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, 2017.

### **CAPÍTULO III**

#### **CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E VARIABILIDADE GENÉTICA EM FRUTOS DE ACESSOS DE ACROCOMIA CONSERVADOS EM BANCO DE GERMOPLASMA**

## CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E VARIABILIDADE GENÉTICA EM FRUTOS DE ACESSOS DE ACROCOMIA CONSERVADOS EM BANCO DE GERMOPLASMA

### RESUMO

A macaúba é uma palmeira oleaginosa economicamente promissora com frutos ricos em óleo da polpa e amêndoa. Além disso, existe a possibilidade do aproveitamento integral dos frutos com a geração de coprodutos de amplo valor agregado. Estudos da biometria dos frutos em materiais genéticos diversos se tornam importantes, pois além de inferir sobre potenciais econômicos para viabilizar a utilização industrial dos produtos e coprodutos gerados, são fundamentais em estudos de melhoramento, conservação e identificação de genótipos promissores. Assim, objetivou-se com este estudo: i) caracterizar e avaliar a biometria de frutos de macaúba; ii) estimar os parâmetros genéticos e a diversidade existente entre 29 acessos conservados pertencentes a gleba VI do BAG-Macaúba. Os dados foram submetidos a análise de variância para identificação de variabilidade genética e das estimativas dos parâmetros genéticos. Adicionalmente, foi realizada análise multivariada por meio de metodologia hierárquica UPGMA, otimização de Tocher (com base na distância generalizada de Mahalanobis) e pela técnica de variáveis canônicas na projeção tridimensional. Por fim, a contribuição relativa das variáveis também foi realizada para discriminação dos acessos e de acordo com a metodologia de Singh. Os acessos estudados apresentaram médias biométricas de 38.05 g de fruto fresco e 40.96 mm de diâmetro transversal de fruto, espessura de endocarpo de 4.13 mm e índice de massa processável de 32.74. Altas herdabilidades foram observadas entre os caracteres, com variação entre 0.66 da massa seca de amêndoa a 0.90 do diâmetro transversal do fruto. O agrupamento pelo método UPGMA formaram três grupos enquanto que para o método de Tocher os acessos foram reunidos em sete grupos separados. As variáveis que mais contribuíram para a diferenciação dos acessos foram a massa fresca da amêndoa e o índice de massa processável. Existe variabilidade genética entre os 29 acessos avaliados para os caracteres biométricos de frutos e entre eles se destacam os acessos BGP 271, BGP 272, BGP 296, BGP 291 e BGP 256 como promissores para serem inter cruzados em etapas futuras do programa de melhoramento.

**Palavras-chave:** Macaúba. Parâmetros Genéticos. Dissimilaridade Genética.

**BIOMETRIC CHARACTERIZATION AND GENETIC VARIABILITY IN  
FRUITS OF ACROCOMIA ACCESSIONS PRESERVED IN A GERMOPLOSM  
BANK**

**ABSTRACT**

Macauba is an economically promising oleaginous palm, bearing fruits rich in pulp and almond oil. In addition, there is the possibility of full use of the fruits with the generation of high-value co-products. Studies of fruit biometrics in different genetic materials become important because, in addition to inferring about economic potential to enable the industrial use of the products and co-products generated, they are fundamental in studies of improvement, conservation and identification of promising genotypes. Thus, the objective of this study include: i) characterize and evaluate the biometry of macauba fruits; ii) estimate the genetic parameters and the existing diversity among 29 accessions conserved belonging to glebe VI of BAG-Macaúba. Data were subjected to analysis of variance to identify genetic variability and estimates of genetic parameters. Additionally, a multivariate analysis was performed using hierarchical UPGMA methodology, Tocher optimization (based on the generalized Mahalanobis distance) and the technique of canonical variables in the three-dimensional projection. Finally, the relative contribution of the variables was also performed to discriminate accesses, according to Singh methodology. The studied accessions presented biometric averages of 38.05 g of fresh fruit and 40.96 mm of transversal diameter of the fruit, endocarp thickness of 4.13 mm and processable mass index of 32.74. High heritability was observed among the characters, with a variation between 0.66 for almond dry mass to 0.90 for the transversal diameter of the fruit. The grouping by the UPGMA method formed three groups while for the Tocher method the accessions were grouped into seven separate groups. The variables that most contributed to the differentiation of the accessions were the almond fresh mass and the processable mass index. There is genetic variability among the 29 accessions evaluated for the biometric characters of fruits and among them the accessions BGP 271, BGP 272, BGP 296, BGP 291 and BGP 256 stand out as promising to be intercrossed in future stages of the breeding program.

**Keywords:** Macauba. Genetic Parameters. Genetic Dissimilarity.

## 1. INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia* sp.) é uma palmeira oleaginosa nativa do Brasil e têm despertado interesse por se tratar de uma cultura economicamente promissora por sua capacidade de produção de óleo vegetal e outros subprodutos comerciais. A matéria prima de maior potencial econômico são os frutos da palmeira. A polpa e amêndoa de seus frutos são ricas em ácidos graxos, constituindo-se fontes alternativas de óleos vegetais para diferentes setores industriais, incluindo o nutracêutico, farmacêutico, cosméticos e de biocombustíveis (ALFARO-SOLÍS et al., 2020; CARDOSO et al., 2017; CICONINI et al., 2013; MACHADO et al., 2015; MONTOYA et al., 2016; MOTOIKE et al., 2013). Além disso, existe a possibilidade da utilização dos resíduos sólidos dos frutos na geração de coprodutos de amplo valor agregado, como carvão vegetal, substratos e tortas fibroproteicas para nutrição humana ou animal (AMPESE et al., 2021; BARBOSA et al., 2020; CARDOSO et al., 2017; EVARISTO et al., 2016; EVARISTO et al., 2017; LANES et al., 2015; MONTOYA et al., 2021; SÁ et al., 2019).

Caracterizado como do tipo drupa, o fruto da palmeira é globoso composto pelo epicarpo (casca) liso e fibro-coriáceo; mesocarpo (polpa) fibro-carnoso e oleaginoso; endocarpo lenhoso e endurecido que recobre toda a amêndoa (semente) oleaginosa (COLOMBO et al., 2018; LORENZI et al., 2010; MACHADO et al., 2015; RAMOS et al., 2008; REIS; MERCADANTE-SIMOES; RIBEIRO, 2012).

As avaliações biométricas contribuem significativamente para verificação do desempenho e qualidade dos diferentes componentes dos frutos, adequando o direcionamento dos mesmos ao processo industrial, segundo as utilizações alimentícias e/ou bioenergéticas, (MACHADO et al., 2015). Assim, estudos desta natureza em frutos de macaúba são necessários e de grande importância pois, além de inferir sobre potenciais econômicos dos produtos e subprodutos gerados, ordenam os estudos de melhoramento, conservação e identificação de materiais genéticos promissores, uma vez que fornecem dados da variabilidade genética de populações e suas relações com fatores ambientais (MACHADO et al., 2015; SILVA et al., 2017; VIANNA et al., 2017).

Em palmeiras do gênero *Acrocomia* é possível encontrar uma alta variabilidade fenotípica e genética das plantas, tanto em suas estruturas vegetativas quanto em caracteres produtivos e biométricos de frutos. Variações morfológicas na caracterização biométrica de frutos dentro e entre populações de espécies de macaúba foram observados em trabalhos direcionados para fins de taxonomia, repetibilidade, conservação e melhoramento genético da

palmeira (ALFARO-SOLÍS et al., 2020; CICONINI et al., 2013; COELHO et al., 2019; MACHADO et al., 2015; MANFIO et al., 2011; VIANNA et al., 2017). A alta adaptabilidade edafoclimática das plantas contribui para essa elevada diversificação, sendo considerada no Brasil uma das palmeiras de maior dispersão encontrada em quase todas as regiões do país (ARAÚJO et al., 2017; COSTA et al., 2018; MACHADO et al., 2015; MOTOIKE et al., 2013; MOTOIKE; KUKI, 2009).

Segundo Costa et al. (2018), aferir os parâmetros genéticos de interesse para avanços na identificação de genótipos superiores é possível por meio da avaliação e caracterização de acessos preservados em bancos ativos de germoplasma, pois além de serem fontes de materiais genéticos, constituem-se como os principais conservadores da diversidade da espécie. As estimativas de parâmetros genéticos e componentes de variância avaliados em pesquisas são fundamentais na condução e planejamento de estratégias eficientes em programas de melhoramento da *Acrocomia* sp. e auxiliarão no processo de seleção e futuras recomendações de cultivares (ROSADO et al., 2019). Assim, estimar a base genética da macaúba implica em maior conhecimento sobre a estrutura de sua diversidade fenotípica (LUSTRI et al., 2021).

Portanto, o presente estudo objetivou caracterizar a biometria dos frutos de *Acrocomia* sp., avaliar os parâmetros genéticos estimados e a variabilidade fenotípica de 29 acessos genéticos de diferentes procedências geográficas conservados em banco de germoplasma. Adicionalmente, realizou-se um estudo da diversidade genética por meio das análises multivariadas de agrupamento e identificação do grau de importância dos caracteres biométricos de frutos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba (BAG-Macaúba), pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado na área da Unidade da Estação Experimental de Araponga – MG. O germoplasma avaliado foi referente a 29 acessos genéticos de macaúba (famílias de meios-irmãos), procedentes de matrizes oriundas de diferentes localizações geográficas (Tabela 1). Estes materiais se encontram na área da Gleba VI do BAG-Macaúba e foram plantados em 2013 após serem coletados frutos e destes extraídos as sementes para a produção das mudas. Os acessos foram dispostos no campo no espaçamento de 5 x 5 m e o delineamento experimental em blocos ao acaso, com duas repetições e a unidade experimental composta por três plantas.

**Tabela 1** - Identificação dos 29 acessos genéticos da Gleba VI presentes no BAG-Macaúba e as respectivas origens geográficas das matrizes que originaram os acessos avaliados no estudo.

Acesso	Código do BAG	Localidade Matriz	Região*	Latitude	Longitude
1	<b>BGP 254</b>	Bom Despacho-MG	CMG	S 19° 47' 00.1"	W 45° 19' 19.0"
2	<b>BGP 255</b>	Alexânia-GO (EMBRAPA)	COB	S 16° 04' 56"	W 48° 30' 26"
3	<b>BGP 256</b>	Alfenas-MG	SMG	S 21° 22' 29.6"	W 45° 56' 14.3"
4	<b>BGP 261</b>	Belo Horizonte-MG	MBH	S 19° 43' 15.2"	W 43° 39' 51.6"
5	<b>BGP 264</b>	Belo Horizonte-MG	MBH	S 19° 38' 28.5"	W 43° 46' 39.0"
6	<b>BGP 265</b>	Belo Horizonte-MG	MBH	S 19° 30' 43.5"	W 43° 45' 39.8"
7	<b>BGP 266</b>	Campo Grande-MS	COB	S 20° 26' 34"	W 54° 38' 47"
8	<b>BGP 267</b>	Coração de Jesus-MG	NMG	S 16° 29' 25.4"	W 44° 22' 25.6"
9	<b>BGP 269</b>	Descalvado-SP	SUB	S 21° 55' 38.1"	W 47° 35' 42.5"
10	<b>BGP 270</b>	Divinópolis-MG	OMG	S 20° 09' 50.7"	W 44° 55' 41.3"
11	<b>BGP 271</b>	Formiga-MG	OMG	S 20° 28' 29.0"	W 45° 24' 46.5"
12	<b>BGP 272</b>	Ingaí-MG (EMBRAPA)	CVMG	S 21° 24' 24"	W 44° 55' 02"
13	<b>BGP 274</b>	Lavras-MG	SMG	S 21° 15' 53.2"	W 44° 57' 37.6"
14	<b>BGP 275</b>	Luz-MG	CMG	S 19° 45' 35.8"	W 45° 48' 40.2"
15	<b>BGP 278</b>	Ipojuca (Nossa Senhora do Ó) - PE	NDB	S 8° 26' 42.8"	W 35° 00' 08.4"
16	<b>BGP 281</b>	Pirapora-MG	NMG	S 17° 21' 15.7"	W 44° 56' 43.4"
17	<b>BGP 283</b>	Pirapora-MG	NMG	S 17° 20' 39.2"	W 44° 54' 42.7"
18	<b>BGP 285</b>	Ponta Porã-MS	COB	S 22° 32' 10"	W 55° 43' 32"
19	<b>BGP 287</b>	Santa Cruz do Rio Pardo-SP	SUB	S 17° 52' 17.8"	W 43° 57' 33.8"
20	<b>BGP 288</b>	São Carlos-SP	SUB	S 21° 59' 57.7"	W 47° 40' 45.8"
21	<b>BGP 290</b>	São Jose do Rio Pardo-SP	SUB	S 21° 39' 28.6"	W 46° 51' 56.4"
22	<b>BGP 291</b>	Serra da Saudade-MG	CMG	S 19° 47' 20.1"	W 46° 01' 29.5"
23	<b>BGP 292</b>	São João Del Rey-MG	CVMG	S 21° 08' 00"	W 34° 15' 40"
24	<b>BGP 293</b>	Taquaritinga-SP	SUB	S 21° 24' 33.2"	W 48° 41' 37.1"
25	<b>BGP 296</b>	Três Marias-MG	CMG	S 18° 07' 28.8"	W 45° 25' 27.7"
26	<b>BGP 297</b>	Varginha-MG	SMG	S 21° 37' 14.2"	W 45° 25' 44.4"
27	<b>BGP 300</b>	Varzea da palma-MG	NMG	S 17° 34' 48.1"	W 44° 44' 28.3"
28	<b>BGP 301</b>	Itaiguá-PARAGUAI	PAR	S 25° 24' 11"	W 48° 30' 26"
29	<b>BGP 302</b>	Bocaiuva-MG	NMG	S 17° 07' 42.4"	W 43° 49' 16.1"

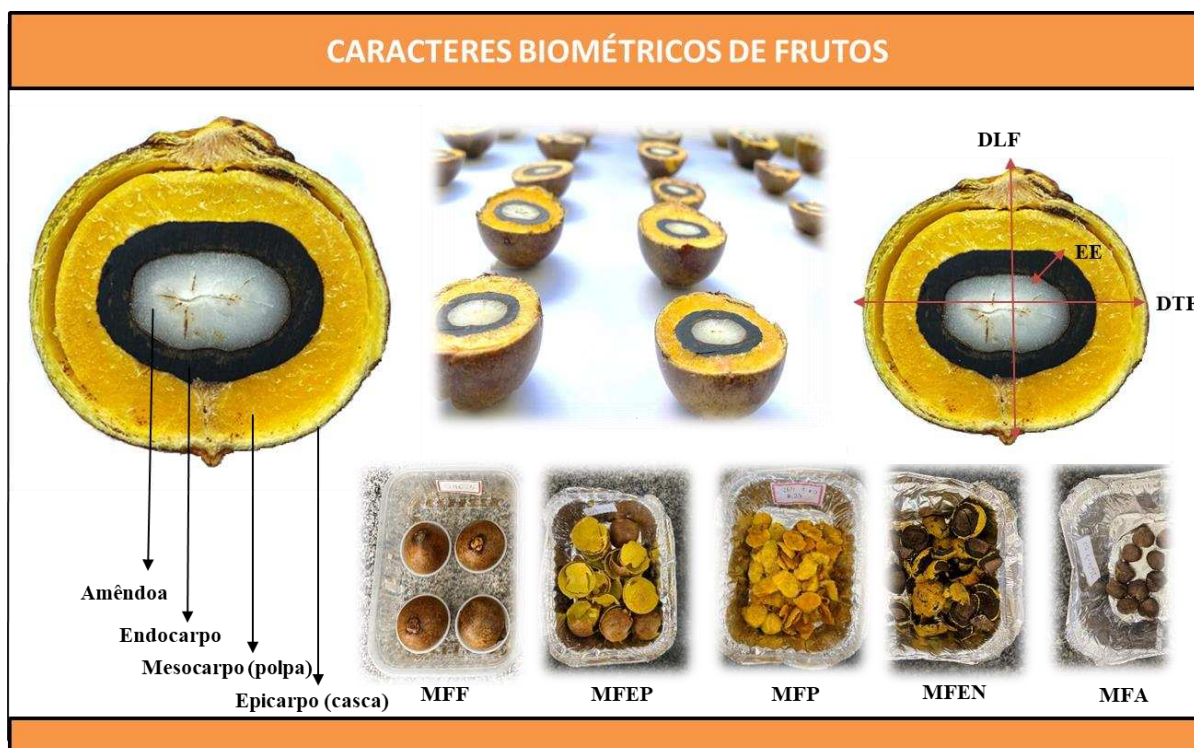
\*Região (ou procedências): SUB (Sudeste do Brasil); COB (Centro Oeste do Brasil); NDB (Nordeste do Brasil); NMG (Norte de Minas Gerais); SMG (Sul de Minas Gerais); CMG (Central de Minas Gerais); MBH (Metropolitana de Belo Horizonte-MG); OMG (Oeste de Minas Gerais); CVMG (Campos das Vertentes) e PAR (Paraguai).

No momento do ensaio experimental, as plantas apresentavam a idade de seis anos, já em sua fase reprodutiva. Os cachos foram colhidos quando os frutos estavam fisiologicamente maduros ao apresentarem indicativo do ponto de colheita conforme sua maturação, ou seja, quando acontecia a abscisão natural dos primeiros frutos maduros. As amostras dos frutos

coletados foram devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Pós-Colheita da Macaúba localizado no setor de fruticultura da UFV. Os frutos colhidos foram referentes à safra 2019/2020 conforme a disponibilidade de plantas produtivas dos acessos.

A caracterização biométrica foi realizada em quatro frutos por planta, suficientes para o estudo das características avaliadas (MANFIO et al., 2011). Para as análises destrutivas os componentes dos frutos foram separados e mensurados individualmente em cada fruto e suas partes constituintes (Figura 1). Os caracteres biométricos avaliados foram: a massa fresca média do fruto (MFF, g), o diâmetro médio transversal do fruto (DTF, mm), o diâmetro médio longitudinal do fruto (DLF, mm), o volume do fruto (VF, cm<sup>3</sup>), a espessura do endocarpo (EE, mm), o índice de massa processável (IMP), a massa fresca do epicarpo (MFEP, g), a massa fresca da polpa (MFP, g), a massa fresca do endocarpo (MFEN, g), a massa fresca da amêndoa (MFA, g), a massa seca do epicarpo (MSEP, g), a massa seca da polpa (MSP, g), a massa seca do endocarpo (MSEN, g) e a massa seca da amêndoa (MSA, g).

A MFF foi obtida por meio do peso em gramas do fruto fresco realizado em balança analítica de precisão Shimadzu modelo AUY 220. Com o auxílio de um paquímetro digital de 0.01 mm de precisão foram mensurados o DTF e DLF. Para o VF, o fruto foi adicionado em uma proveta volumétrica inicialmente contendo água (Volume inicial: VI), obtendo-se um novo volume (Volume final: VF) devido ao deslocamento da coluna d'água e, pela diferença do volume final pelo inicial (VF-VI), foi obtido o volume do fruto em cm<sup>3</sup>. Posteriormente os frutos foram devidamente descascados, despulpados e separados manualmente suas partes constituintes (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa). A EE foi obtida com o auxílio do paquímetro digital medindo-se em duas porções aleatórias as espessuras do endocarpo já fragmentado, obtendo-se a média. O IMP foi calculado pela expressão:  $IMP = \text{diâmetro equatorial do fruto} - 2 \times \text{espessura do endocarpo}$ , de acordo com Manfio et al. (2011). As avaliações de massa fresca e seca dos componentes dos frutos, foram obtidos por meio do peso em gramas aferido em balança de precisão, sendo a massa seca pesada após a secagem da massa fresca em estufa com circulação de ar a 65°C até atingir peso constante.



**Figura 1** - Representação ilustrativa dos componentes dos frutos de *Acrocomia sp.* e os principais caracteres biométricos de frutos avaliados. MF: massa fresca do fruto; DTF: diâmetro transversal do fruto; DLF: diâmetro longitudinal do fruto; EE: espessura média do endocarpo; MFEP: massa fresca do epicarpo; MFP: massa fresca da polpa; MFEN: massa fresca do endocarpo e MFA: massa fresca da amêndoa. Fonte: Corella, D. L. B. (2022).

Os dados da caracterização biométrica dos frutos foram submetidos à análise de variância com base nos acessos estudados e a existência de variabilidade para os caracteres avaliados foi testada por meio do teste F a 1% de probabilidade. Posteriormente, foram obtidas as estimativas dos parâmetros genéticos associados aos efeitos genético e residual, sendo elas: variância genotípica ( $V_g$ ), variância residual ( $V_e$ ), variância fenotípica ( $V_f$ ), herdabilidade ( $h^2$ ), coeficiente de variação genotípica ( $CV_g$ ), coeficiente de variação residual ( $CV_e$ ), coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ) e coeficiente de variação fenotípica ( $CV_f$ ).

Para o estudo da diversidade genética foram realizados procedimentos estatísticos de análise multivariada baseada na distância generalizada de Mahalanobis como medida de dissimilaridade, e para a identificação dos grupos dissimilares utilizou-se o método hierárquico UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), o método de otimização de Tocher e a projeção 3D por variáveis canônicas, para verificação e classificação dos grupos de maior similaridade genética e maior confiabilidade dos dados. A contribuição relativa dos caracteres avaliados para a variabilidade total entre os acessos foi estudada baseada na distância generalizada de Mahalanobis por meio da estatística de Singh (SINGH, 1981). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Genes com integração do R (CRUZ, 2016).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização Fenotípica

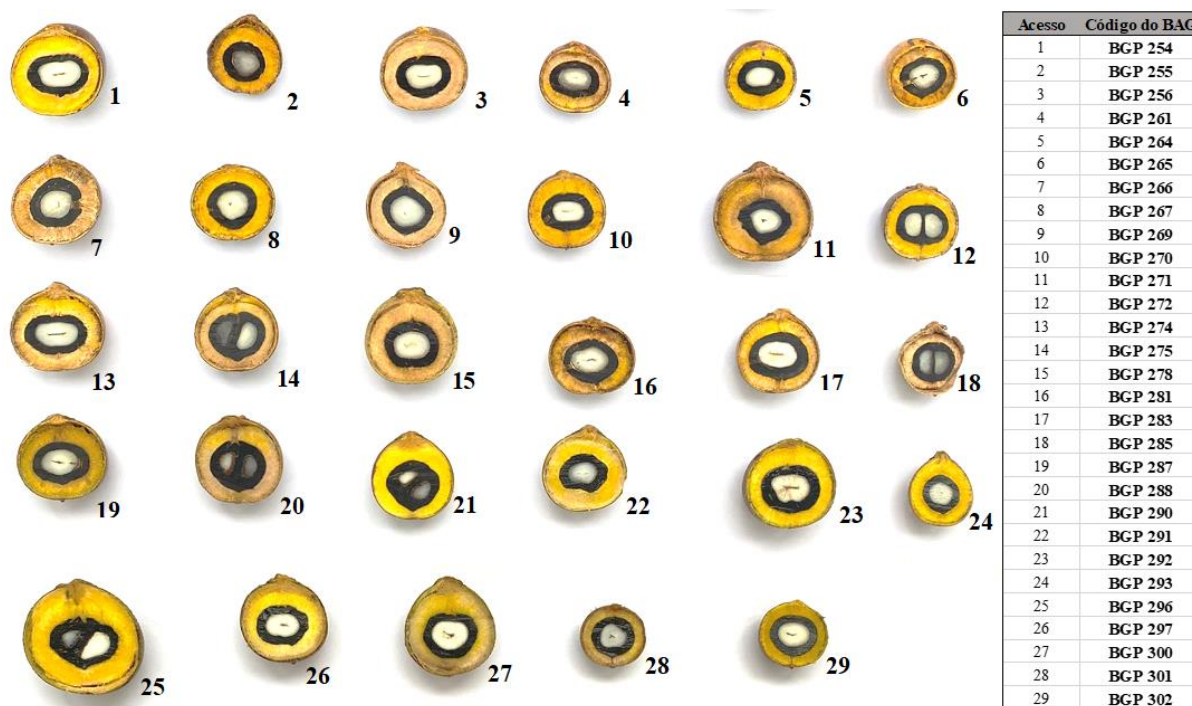
Para os diferentes acessos de *Acrocomia sp.* verificou-se a existência de variabilidade em todos os caracteres biométricos avaliados, conforme as diferenças significativas ( $p < 0.01$ ) observadas na análise de variância (Tabela 2).

Estes resultados demonstram que os caracteres utilizados para o estudo dos 29 acessos genéticos foram capazes de os diferenciarem entre si, sendo suficientes para a detecção da ocorrência da variabilidade desses materiais. Em etapas iniciais de programas de melhoramento, identificar a variabilidade genética em germoplasma de estudo reforça a necessidade de maior exploração do conhecimento sobre a diversidade de seus recursos genéticos encontrada em diferentes populações (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

A variabilidade biométrica dos frutos dos 29 acessos pertencentes ao BAG-Macaúba pode ser verificada visualmente por meio da variabilidade ilustrativa dos frutos representativos dos acessos investigados (Figuras 2 e 3) e pode ser confirmada com base nas médias dos acessos e nos mínimos e máximos valores apresentados de acordo com a amplitude de variação dos caracteres avaliados (Tabela 2 e Tabela suplementar 1).



**Figura 2** - Variabilidade ilustrativa de frutos representativos dos 29 acessos de *Acrocomia sp.* pertencentes a gleba VI do BAG-Macaúba. Fonte: Corella, D. L. B. (2022).



**Figura 3** - Variabilidade ilustrativa da biometria interna por meio de um corte longitudinal dos frutos representativos dos 29 acessos de *Acrocomia sp.* pertencentes a gleba VI do BAG-Macaúba. Fonte: Corella, D. L. B. (2022).

As médias biométricas dos caracteres analisados foram: MFF = 38.05 g, DTF = 40.96 mm, DLF = 38.92 mm, VF = 38.24 cm<sup>3</sup>, EE = 4.13 mm, IMP = 32.74, MFEP = 8.42 g, MFP = 16.20 g, MFEN = 8.22 g, MFA = 2.16 g, MSEP = 5.30 g, MSP = 8.11 g, MSEN = 6.97 g e MSA = 1.73 g (Tabela 2). Valores próximos dos encontrados no presente trabalho foram verificados em estudos biométricos com frutos de macaúba realizados por Vianna et al. (2017) para MFF, DTF e DLF, onde obtiveram médias de 39.04 g, 41.30 mm e 40.10 mm, respectivamente. No entanto, Evaristo et al. (2017), obtiveram médias de 41.01 g para MFF, 11.11 g para MFEP, 19.05 g para MFP, 9.32 g para MFEN, 2.14 g para MFA, 5.21 g para MSEP, 9.03 g para MSP, 7.51 g para MSEN e 1.72 g para MSA em frutos de macaúba procedentes da região Central de MG, valores superiores aos encontrados neste trabalho, exceto para MFA, MSEP e MSA. Os coeficientes de variação baixos do estudo (CV%) demonstraram boa precisão dos dados, variando entre 4.30% a 22.67%.

**Tabela 2** - Resumo da Análise de Variância para os caracteres de massa fresca do fruto (MFF), diâmetro transversal do fruto (DTF); diâmetro longitudinal do fruto (DLF); volume do fruto (VF); espessura média do endocarpo (EE); índice de massa processável (IMP); massa fresca do epicarpo (MFEP); massa fresca da polpa (MFP); massa fresca do endocarpo (MFEN); massa fresca da amêndoa (MFA); massa seca do epicarpo (MSEP); massa seca da polpa (MSP); massa seca do endocarpo (MSEN) e massa seca da amêndoa (MSA) dos 29 acessos de *Acrocomia sp.* avaliados no BAG-Macaúba.

<b>Caracteres Biométricos de frutos</b>	<b>QMA</b>	<b>QMR</b>	<b>F</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>CV%</b>
MFF	227.57	28.09	8.10**	18.50	73.89	38.05	13.93
DTF	29.80	3.10	9.60**	31.60	52.13	40.96	4.30
DLF	23.72	3.35	7.08**	30.42	48.97	38.92	4.70
VF	214.25	31.99	6.70**	19.00	75.38	38.24	14.79
EE	0.44	0.10	4.17**	3.13	5.87	4.13	7.85
IMP	24.64	3.07	8.03**	24.43	42.61	32.74	5.35
MFEP	22.80	3.48	6.56**	3.13	23.84	8.42	22.13
MFP	56.63	9.15	6.19**	6.24	36.30	16.20	18.67
MFEN	5.70	1.05	5.45**	4.69	12.05	8.22	12.43
MFA	0.52	0.13	4.14**	1.16	3.67	2.16	16.47
MSEP	8.14	0.93	8.78**	1.87	14.34	5.30	18.18
MSP	15.86	3.38	4.69**	2.31	18.36	8.11	22.67
MSEN	3.84	0.72	5.34**	4.01	10.35	6.97	12.16
MSA	0.25	0.08	2.96**	0.96	2.78	1.73	16.84

QMA: quadrado médio dos acessos; QMR: quadrado médio do resíduo; F:QMA/QMR; CV%: coeficiente de variação experimental. \*\*: Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Entre os valores máximos observados destacam-se os acessos BGP 271, BGP 291 e o BGP 296, ambos de matrizes com procedência de MG (Tabela 1), os quais obtiveram plantas que produziram frutos com os maiores valores para MFF, DTF, DLF e VF, sendo a massa de fruto acima de 62 g, diâmetro transversal e longitudinal superior que 48 mm e 47 mm, respectivamente e volume de frutos acima de 65 cm<sup>3</sup>, apresentando valores superiormente acima da média geral dos acessos estudados (Tabela 2 e Tabela suplementar 1). Sá et al. (2019), avaliando caracteres físico-oleífero de frutos de macaúba obtiveram máximo de 44.6 cm<sup>3</sup> no volume de fruto avaliado em genótipos conservados em banco de germoplasma procedentes da Região de Marabá-PA, valor este inferior ao encontrado no presente estudo.

Em relação a espessura do endocarpo existem duas visões a serem consideradas, que dizem respeito aos diferentes destinos de processamento dos frutos conforme objetivos específicos dos mercados diversos. Acessos que apresentam frutos com maiores valores para EE e para suas respectivas massas frescas e secas (MFEN e MSEN) são interessantes quando se deseja selecionar indivíduos que adicionalmente possam contribuir com mercados destinados a produção de carvões vegetais e/ou ativados, agregando valor a cadeia produtiva da macaúba. Valores máximos para EE, MFEN e MSEN encontrados no presente estudo foram 5.87 mm (BGP 278), 12.05 g e 10.35 g (BGP 283), respectivamente (Tabela 2 e Tabela suplementar 1). Semelhantemente, Machado et al. (2015), avaliando dois ecótipos de frutos de macaúba (*totai* e *esclerocarpa*), também obtiveram valor elevado de 5.50 mm na espessura de

endocarpo em ecótipo esclerocarpa. Segundo o autor, maiores rendimentos na obtenção de carvão podem ser alcançados à medida que a espessura do endocarpo da macaúba aumenta.

Por outro lado, valores inferiores de EE pode ser interessante quando o objetivo é polpa mais espessa e endocarpo reduzido com vistas de maior produção de óleo derivado da polpa do fruto. E ainda, quando é considerada a facilidade no manejo de produção de sementes, visto que endocarpos mais espessos tornaria o processamento do fruto mais dificultado durante o protocolo de germinação da semente. Entre os acessos estudados o menor valor encontrado para esta variável foi de 3.13 mm de espessura, identificado no acesso BGP 293 (Tabela 2 e Tabela suplementar 1). A média encontrada referente aos 29 acessos avaliados foi a de 4.13 mm, valor de espessura de endocarpo inferior a observada por Manfio et al. (2011) com 4.74 mm de EE.

As principais variáveis que envolvem o processo de extração de óleo dos frutos são as relacionadas com as massas de polpa e de amêndoa (MFP, MFA, MSP e MSA), portanto, são relevantes para os estudos de melhoramento da *Acrocomia sp.* Os valores máximos encontrados neste trabalho foram 36.30 g para MFP, 3.67 g para MFA, 18.36 g para MSP e 2.78 g para MSA que correspondem aos acessos BGP 271 e BGP 296 (Tabela 2 e Tabela suplementar 1), materiais interessantes quando se deseja maior rendimento de óleo dos frutos. A seleção indireta de frutos com maiores massa seca de polpa aumenta a produtividade do óleo por planta, conforme resultados obtidos de correlação positiva de massa seca da polpa e o rendimento de óleo nos estudos realizados em banco de germoplasma (COSTA et al., 2018). No entanto, análises do teor de óleo da polpa dos materiais genéticos avaliados confirmariam as maiores produtividades do óleo resultantes de suas maiores massas de polpa.

Nesta mesma linha de raciocínio, em programas de melhoramento e seleção de materiais genéticos superiores é importante que seja considerado genótipos que apresentem maiores índices de massa processável, o que garantiria maiores produtividades de óleo. No presente trabalho houveram plantas com altos valores de IMP (>40), com destaque novamente para os acessos BGP 271 e BGP 296, que apresentaram os valores máximos de 42.61 e 42.19, respectivamente (Tabela 2 e Tabela suplementar 1). A média geral encontrada entre os diferentes acessos avaliados para o índice de massa processável foi de 32.74, superior à média observada por Manfio et al. (2011) em avaliação biométrica de frutos de 145 acessos de macaúba.

### 3.2. Estimativas de Parâmetros Genéticos

As estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres biométricos são apresentadas na Tabela 3. A variância genotípica (Vg), residual (Ve) e fenotípica (Vf) são os resultados quantitativos dos componentes de variância estimados e confirmados por meio da significância obtida pelo teste F da ANOVA. A Vg reflete sobre a ação do genótipo, ou valor genotípico descontada da variação devida ao acaso (ambiental), já as estimativas de variância residual informam sobre a variância devido aos desvios proporcionados pelo ambiente, enquanto que a variância fenotípica ( $V_f = V_g + V_e$ ) retrata exatamente o somatório das variâncias citadas anteriormente (CRUZ, 2012). Em geral, as maiores variâncias genotípicas, residuais e fenotípicas foram observadas em caracteres de massa fresca e volume de frutos (MFF e VF).

**Tabela 3** - Estimativas de parâmetros genéticos obtidos da análise dos 29 acessos de *Acrocomia sp.* relacionados aos caracteres de massa fresca do fruto (MFF), diâmetro transversal do fruto (DTF); diâmetro longitudinal do fruto (DLF); volume do fruto (VF); espessura média do endocarpo (EE); índice de massa processável (IMP); massa fresca do epicarpo (MFEP); massa fresca da polpa (MFP); massa fresca do endocarpo (MFEN); massa fresca da amêndoa (MFA); massa seca do epicarpo (MSEP); massa seca da polpa (MSP); massa seca do endocarpo (MSEN) e massa seca da amêndoa (MSA).

Caracteres	Vg	Ve	Vf	h <sup>2</sup>	CVg(%)	CVe(%)	CVr(%)	CVf(%)	M
MFF	99.74	14.05	113.79	0.88	26.25	13.93	1.88	28.03	38.05
DTF	13.35	1.55	14.90	0.90	8.92	4.30	2.07	9.42	40.96
DLF	10.19	1.67	11.86	0.86	8.20	4.70	1.74	8.85	38.92
VF	91.13	16.00	107.12	0.85	24.96	14.79	1.69	27.07	38.24
EE	0.17	0.05	0.22	0.76	9.89	7.85	1.26	11.36	4.13
IMP	10.78	1.53	12.32	0.87	10.03	5.35	1.87	10.72	32.74
MFEP	9.66	1.74	11.40	0.85	36.91	22.13	1.67	40.10	8.42
MFP	23.74	4.57	28.31	0.84	30.08	18.67	1.61	32.84	16.20
MFEN	2.32	0.52	2.85	0.82	18.54	12.43	1.49	20.54	8.22
MFA	0.20	0.06	0.26	0.76	20.62	16.47	1.25	23.61	2.16
MSEP	3.61	0.46	4.07	0.89	35.87	18.18	1.97	38.06	5.30
MSP	6.24	1.69	7.93	0.79	30.79	22.67	1.36	34.72	8.11
MSEN	1.56	0.36	1.92	0.81	17.92	12.16	1.47	19.88	6.97
MSA	0.08	0.04	0.12	0.66	16.67	16.84	0.99	20.02	1.73

Vg: variância genotípica entre acessos; Ve: variância residual/ambiental; Vf: variância fenotípica entre acessos; h<sup>2</sup>: herdabilidade em nível de média dos acessos; CVg(%): coeficiente de variação genotípica; CVe(%): coeficiente de variação residual/ambiental; CVr(%) = CVg/CVe = coeficiente de variação relativa; CVf(%): coeficiente de variação fenotípica; M: média geral.

Em relação as estimativas de herdabilidade houve variação entre 0.66 a 0.90 da massa seca de amêndoa e diâmetro transversal do fruto, respectivamente (Tabela 3). Estas altas

herdabilidades encontradas (0.50 - 0.80: herdabilidade alta e 0.80 - 1: herdabilidade muito alta, conforme Resende, 2002), evidenciam um forte controle genético dos caracteres biométricos. Esta propriedade é importante quando se objetiva maiores ganhos na seleção de acessos promissores para o estudo do melhoramento genético da macaúba. Semelhantemente, Costa et al. (2018), obtiveram altas herdabilidades em nível de média dos acessos de macaúba, com valores variando de 0.64 a 0.79 para caracteres biométricos e de óleo dos frutos. Estes resultados demonstram um excelente potencial de seleção entre os acessos estudados, apresentando boas perspectivas para a seleção de plantas com alto desempenho em caracteres biométricos de frutos. Em programas de recursos genéticos e melhoramento vegetal, identificar os parâmetros de estimativas de herdabilidade consiste em subsidiar o processo de ganhos com a seleção de genótipos de interesse, auxiliando em futuras recomendações de cultivares superiores (ROSADO et al., 2019).

De acordo com Lustrri et al. (2021), o coeficiente de variação genotípica informado para os caracteres em estudo é um importante indicador de variabilidade genética a ser explorada em programas de melhoramento. No presente trabalho foi possível verificar maiores valores do coeficiente de variação genotípica (CVg) em relação ao coeficiente de variação residual (CVe) (Tabela 3). Estes resultados demonstram que os valores médios estimados para os caracteres biométricos de frutos entre os acessos avaliados foram explicados mais pela variância atribuída aos efeitos genéticos do que pela influência ambiental.

Foram observados maiores CVg em caracteres relacionados com as massas do epicarpo e da polpa (Tabela 3). Estes resultados de alta variação genética entre os 29 acessos de macaúba evidenciam a facilidade na diferenciação desses materiais genéticos. O CVe revela o grau de precisão na condução do experimento. Os baixos valores observados no trabalho para os caracteres biométricos de frutos expressam a boa execução da qualidade experimental que juntamente com os altos valores para CVg explicam a variabilidade encontrada entre os acessos devida à natureza genética.

O coeficiente de variação relativa (CVr) informa sobre a relação entre o coeficiente de variação genotípico (CVg) e o coeficiente de variação residual/ambiental (CVe) apresentados na Tabela 3. A magnitude do CVr é uma estimativa de parâmetro genético que pode inferir sobre a alta precisão da ação genotípica quando seus valores forem superiores a 1 (RESENDE; ALVES, 2020). Para todos os caracteres biométricos testados observou-se valores acima de 0.99 para este parâmetro, revelando superioridade da variação genotípica em relação a variação proporcionada pelo ambiente.

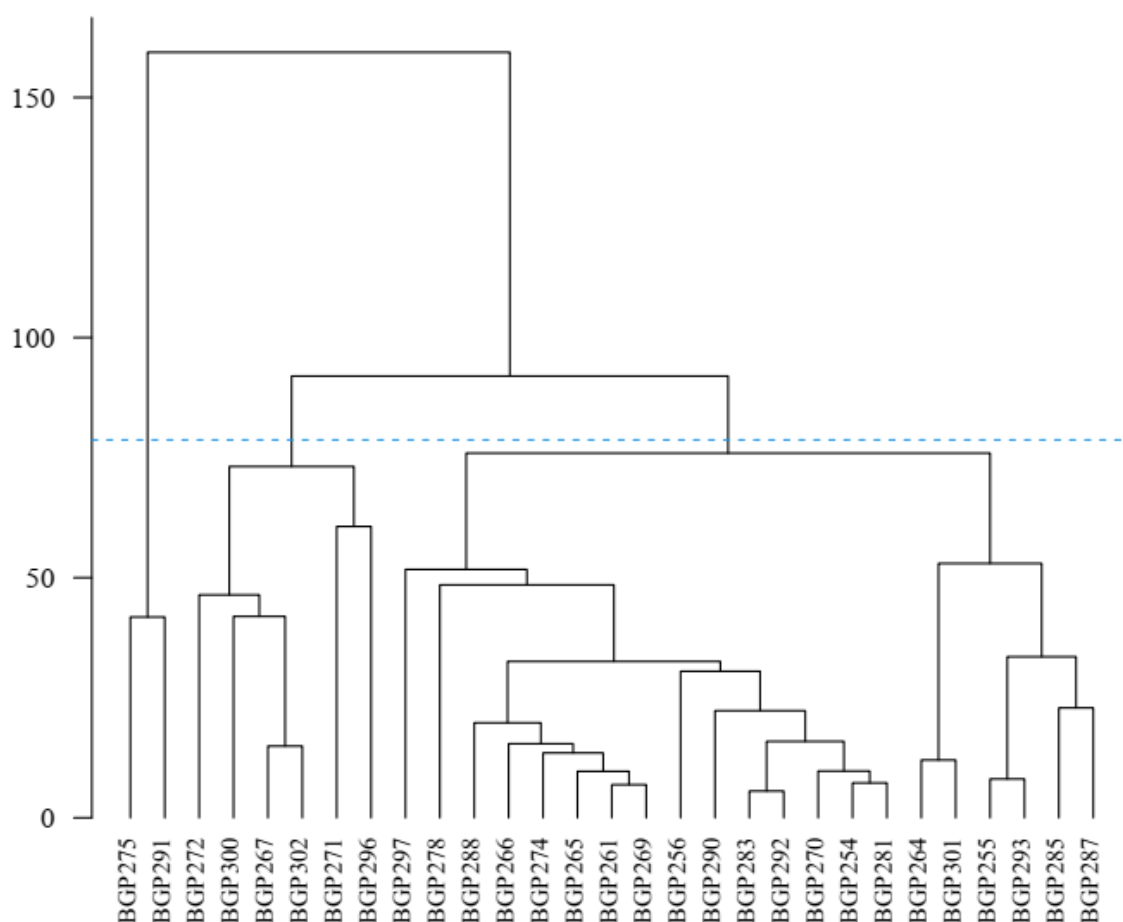
Os maiores coeficientes de variação fenotípica (CVf) foram observados nos caracteres relacionados as massas do epicarpo do fruto, com destaque para a MFEP com o maior valor dentre os caracteres (40.10%) e em seguida a MSEP com o valor de 38.06%, evidenciando maiores variações fenotípicas para estas variáveis proporcionadas pela variância genotípica e pela variância devida aos efeitos ambientais.

Um bom planejamento inicial de estratégias eficientes na condução de programas de melhoramento requer informações confiáveis de variâncias, alcançadas pelas estimativas de parâmetros genéticos em análises experimentais (ROSADO et al., 2019). De acordo com Cruz; Ferreira e Pessoni (2020), a variabilidade genética deve ser vista pelo melhorista como fator fundamental para a obtenção de ganhos genéticos, direcionando ao máximo suas técnicas em prol do desenvolvimento de materiais genéticos superiores. Em geral, os resultados referentes as estimativas de parâmetros genéticos analisados em conjunto revelaram grande variabilidade genética para caracteres biométricos de frutos, altas herdabilidades e maiores chances de ganhos genéticos com a seleção de acessos promissores. Portanto, são considerados parâmetros importantes para a continuidade e o sucesso de um programa de melhoramento genético da macaúba.

### **3.3. Dissimilaridade Genética**

Para o estudo da diversidade genética foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade, e devido a constatação de colinearidade forte explicada pela alta correlação residual entre variáveis, foram mantidos para a análise de dissimilaridade os seguintes caracteres biométricos de frutos: diâmetro longitudinal do fruto (DLF); volume do fruto (VF); espessura média do endocarpo (EE); índice de massa processável (IMP); massa fresca do epicarpo (MFEP); massa fresca da polpa (MFP); massa fresca do endocarpo (MFEN); massa fresca da amêndoa (MFA); massa seca do epicarpo (MSEP); massa seca da polpa (MSP) e massa seca da amêndoa (MSA).

A Figura 4 apresenta o dendrograma obtido pela técnica de agrupamento hierárquico UPGMA, baseado na distância de Mahalanobis para os caracteres avaliados. Este método de agrupamento se baseia nas médias aritméticas da medida de dissimilaridade utilizada, de modo a evitar a caracterização das distâncias por valores de máximo ou mínimo, separando-os de forma hierarquizada em grupos de acessos divergentes entre si (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).



**Figura 4** - Dendrograma formado pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis para caracteres biométricos de frutos de 29 acessos de *Acrocomia sp.*

O método UPGMA classificou os 29 acessos de *Acrocomia sp.* em três grupos, de acordo com o ponto referencial de corte pelo critério de Mojena (1977), que correspondeu a dissimilaridade genética  $D^2 = 78.68$ . Semelhantemente Mengistu et al. (2016), avaliando a diversidade genética em germoplasma ex-situ de macaúba também estabeleceram, pelo mesmo método, três grupos com 70% de dissimilaridade, os quais se agruparam de acordo com suas origens geográficas, destacando-se aqueles de Minas Gerais.

No presente estudo, o primeiro grupo foi formado por dois acessos, BGP 275 e BGP 291, ambos de matrizes da região Central de MG (Luz e Serra da Saudade – MG, respectivamente). O segundo grupo reuniu seis acessos (BGP 272, BGP 300, BGP 267, BGP 302, BGP 271 e BGP 296), todos representantes de matrizes procedentes de MG. E o terceiro e último grupo foi composto pelos demais 21 restantes (72.41% dos acessos), cujas matrizes são das regiões Sudeste, Centro Oeste e Nordeste do Brasil, e ainda o BGP 301 de Itauguá no Paraguai (Figura 4 e Tabela 1).

O último grupo reuniu acessos das mais diversas regiões de procedência das matrizes, o que caracteriza uma baixa correspondência entre as regiões de origem dos acessos e a dissimilaridade genética. Reis et al. (2017), avaliando a diversidade de acessos de macaúba de Goiás também reportaram que os agrupamentos obtidos separaram os acessos independentemente de sua origem geográfica. Entretanto, os dois primeiros grupos formados tenderam a se agrupar de acordo com suas regiões de origem mineira. Sá et al. (2019), em seus estudos de caracterização físico-oleífera de frutos de macaúba aplicando o método UPGMA, também observaram leve tendência de agrupamento dos genótipos de acordo com a origem geográfica, mesmo que alguns de mesmas procedências se distribuíssem entre os grupos formados.

Tendo em vista os resultados das divergências genéticas, a classificação dos acessos distribuídos nos diferentes grupos pode ser explicada pelas adaptações fenotípicas manifestadas nos materiais avaliados. Estas adaptações fenotípicas permitem caracterizá-los de acordo com suas regiões de origens ou ainda, pelas respectivas barreiras geográficas localizadas na procedência de suas matrizes, impedindo o fluxo gênico regional. Lanes et al. (2015) avaliando a diversidade molecular em germoplasma ex-situ, consideraram barreiras topográficas regionais de grande influência na diversidade e distribuição das espécies vegetais. Segundo esses autores, os acessos destacados em um agrupamento significativamente separado dos demais, foram pertencentes a matrizes do pantanal de Mato Grosso do Sul, região de bacia sedimentar cercada por grandes rios e planaltos com altitudes elevadas.

Utilizando amostragens de ecótipos de *Acrocomia sp.* em savanas e florestas brasileiras, Lima et al. (2020) também observaram que a associação significativa entre origens geográficas e a composição genética foi mais evidente em agrupamentos formados por acessos de MG (*Acrocomia aculeata*) do que em agrupamentos de acessos da região Centro Oeste do Brasil (*Acrocomia totai*); fato atribuído às barreiras fluviais locais existentes. Díaz et al. (2021), relataram a hipótese de que a Floresta Amazônica atuou como barreira geográfica proporcionando o isolamento reprodutivo e impedindo o fluxo gênico com a separação em diferentes agrupamentos genéticos de *Acrocomia sp.*

A correlação cofenética derivada desta metodologia informa sobre a consistência do agrupamento por métodos hierárquicos, que confirma se a matriz gráfica representa significativamente a matriz de distância original. O valor obtido para a correlação cofenética do presente estudo foi de  $ccc = 0.72^{**}$ , significativo a 1% de probabilidade pelo teste de

Mantel ( $p > 0.01$ ), demonstrando que o dendrograma formado representou satisfatoriamente a matriz de distância genética.

Com base nos valores da matriz generalizada de Mahalanobis, o método de otimização de Tocher separou os 29 acessos de *Acrocomia sp.* em sete grupos para o conjunto de caracteres biométricos de frutos (Tabela 4). A formação de diferentes grupos de acessos em análise multivariada é fundamental para o melhoramento genético, pois a partir destes resultados é possível conhecermos sobre as dissimilaridades existentes entre eles e inferir sobre hibridações controladas que garantem aos descendentes o vigor híbrido de acordo com o caractere de interesse (DOMICIANO et al., 2015; MANFIO et al., 2012).

**Tabela 4** - Agrupamento de 29 acessos de *Acrocomia sp.* pelo método de otimização de Tocher baseado na distância de Mahalanobis.

Grupos	Acessos							
I	BGP283	BGP292	BGP254	BGP281	BGP270	BGP274	BGP290	BGP261
	BGP265	BGP269	BGP302	BGP266	BGP256	BGP288	BGP267	BGP287
II	BGP255	BGP293	BGP285	BGP264	BGP301			
III	BGP275	BGP291						
IV	BGP296	BGP300						
V	BGP278	BGP297						
VI	BGP271							
VII	BGP272							

O grupo I reuniu o maior número de acessos similares (16), com a maioria de procedências geográficas das matrizes pertencentes a região Sudeste do Brasil (MG e SP) e somente um (BGP 266) do Centro Oeste do Brasil (Tabela 4 e Tabela 1). O grupo II foi representado pelos acessos BGP 255, BGP 293, BGP 285, BGP 264 e BGP 301 cuja procedência das matrizes são das regiões Centro Oeste e Sudeste do Brasil (GO, SP, MS, MG) e ainda pelo acesso BGP 301 de Itauguá-Paraguai.

O grupo III foi formado pelos acessos BGP 275 e BGP 291, ambos procedentes da região Central de Minas. Este resultado é coerente com o agrupamento gerado pelo método hierárquico UPGMA (Figura 4), indicando serem acessos de maior similaridade entre si e que mesmo sendo de origens mineiras devido suas divergências genéticas, não são tão próximos geneticamente dos demais acessos procedentes de MG. Considerando a grande variabilidade genética reportadas em plantas de macaúba (DA CONCEIÇÃO et al., 2015; DÍAZ et al., 2021; EVARISTO et al., 2016; LANES et al., 2015; MACHADO et al., 2015; MENGISTU; MOTOIKE; CRUZ, 2016; SILVA et al., 2017; VIANNA, 2017) é possível verificar dissimilaridades genéticas mesmo entre acessos de origens geográficas próximas. Apesar dos

acessos estarem localizados geograficamente próximos uns dos outros, Reis et al. (2017) obtiveram dissimilaridades entre acessos de GO, destacando que as regiões de ocorrência natural tem grande parte da variabilidade contida nas espécies.

O grupo IV foi composto pelos acessos de matrizes da região Central e Norte de MG (BGP 296 e BGP 300), o grupo V pelos acessos BGP 278 e BGP 297 de procedências geográficas de PE e MG. E os grupos VI e VII formados por acessos individuais de matrizes mineiras BGP 271 e BGP 272, respectivamente. Para estes últimos, apesar de pertencerem a matrizes de MG, o agrupamento de Tocher identificou particularidades em suas divergências individuais, separando-os entre si e entre os demais agrupamentos. Cabe ressaltar que a formação desses diferentes grupos confirma a variabilidade dos acessos estudados e que a separação desses materiais genéticos indica alta dissimilaridade genética entre eles, importante para a diversidade por proporcionar identificação de genitores geneticamente distantes. Para Araújo et al. (2017), os altos índices de diversidade genética encontrada em plantas de *Acrocomia* se dá pela preservação do fluxo gênico entre as populações, favorecido por mecanismos de dispersão de pólen, frutos e sementes (água, vento, polinizadores, animais silvestres). Características biológicas da espécie também podem estar associadas, como o sistema de reprodução preferencialmente cruzado, e também pela conservação da fauna e flora geográfica que auxiliam em todos esses eventos do fluxo gênico.

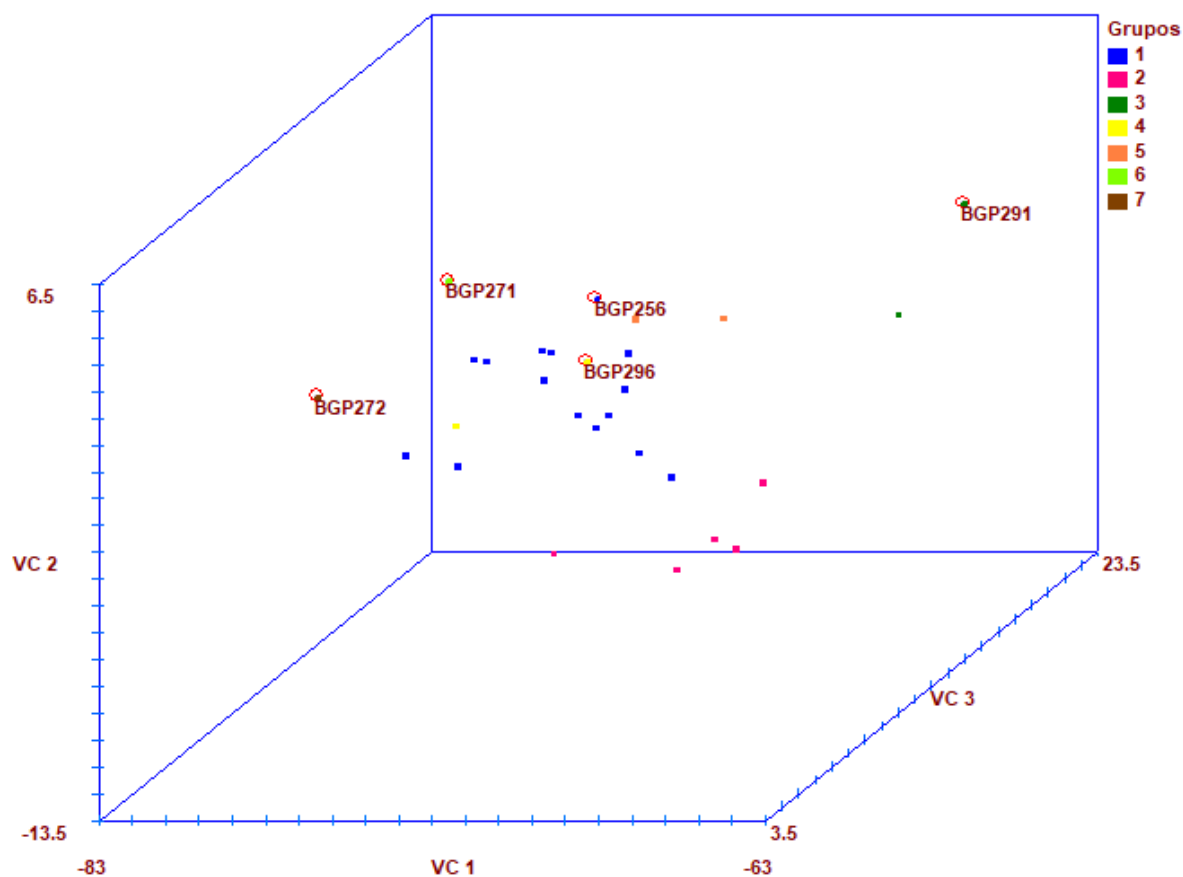
A formação de um maior número de grupos na metodologia de Tocher (sete grupos) em comparação com método UPGMA (três grupos) foi também obtida na avaliação de 51 acessos do BAG-Macaúba, que se agruparam em sete e quatro grupos para Tocher e UPGMA, respectivamente (MANFIO et al., 2012). Da mesma forma, Mengistu et al. (2016) também relataram sobre a formação de maior número de grupos pelo método de Tocher separando acessos anteriormente reunidos pelo UPGMA. Possivelmente este comportamento se dá pelo critério de classificação dos acessos, de forma que a distância genética dentro dos grupos deva ser sempre menor que as distâncias entre os grupos. Os acessos mais similares são reunidos, a fim de que as maiores diferenças ocorram entre os grupos formados (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

Apesar de alguns grupos reunirem acessos de matrizes geográficas diferentes, em geral, os métodos utilizados de Tocher e UPGMA agruparam os acessos com tendências de se reunirem de acordo com suas regiões de procedências e conforme suas similaridades genéticas constatadas. Assim, priorizar cruzamentos entre acessos de grupos divergentes possibilitaria a heterose desejada em descendentes de indivíduos pré-selecionados para o

melhoramento da macaúba, uma vez que a possibilidade de geração de híbridos com maior variabilidade será contemplada.

A Figura 5 apresenta a análise de diversidade por meio das técnicas por variáveis canônicas (VC) e os acessos classificados de acordo com o agrupamento de Tocher. A visualização das distâncias genéticas entre os acessos, por meio da análise de agrupamento por variáveis canônicas, complementa os resultados obtidos por Tocher e UPGMA, como relatam Cruz; Ferreira e Pessoni (2020).

A análise multivariada por VC distribuiu os acessos conforme suas dissimilaridades por meio da projeção 3D (dispersão dos pontos nos eixos cartesianos em espaço tridimensional) e revelou semelhanças no padrão de agrupamento entre os 29 acessos avaliados com a metodologia de Tocher. Este estudo, além de contemplar a diversidade genética e os caracteres mais importantes para as primeiras variáveis canônicas, possibilitou uma maior simplificação estrutural dos dados através da visualização gráfica das distâncias entre os materiais genéticos estudados.



**Figura 5-** Projeção 3D das três primeiras Variáveis Canônicas para caracteres biométricos de frutos de 29 acessos de *Acrocomia sp.* Em destaque os cinco acessos de maior índice de massa processável (IMP). Acessos de mesma cor estão caracterizados de acordo com o Agrupamento de Tocher.

A projeção 3D considera simultaneamente os eixos cartesianos representativos das três primeiras variáveis canônicas relacionadas aos caracteres biométricos de frutos (Figura 5). A massa fresca do endocarpo e do epicarpo (MFEN e MFEP) foram as características que mais contribuíram para as três primeiras variáveis canônicas, com a importância de 41.63% para a VC1, 23.93% para a VC2 e 13.03% para a VC3 (Figura 5 e Tabela 5). Juntas, as três primeiras variáveis canônicas (VC), foram suficientes para a discriminação dos acessos e apresentaram 78.59% da variação total disponível. Semelhantemente, uma variação total de 70.4% foi verificada em um estudo de diversidade genética dos acessos de macaúba conservados em banco de germoplasma, em que caracteres produtivos e biométricos de frutos foram os que estiveram fortemente associados aos primeiros componentes principais do estudo (SÁ et al., 2021).

**Tabela 5** – Estimativas dos autovalores e importância acumulada para as variáveis canônicas relacionadas aos caracteres biométricos de frutos de 29 acessos de *Acrocomia sp.*

VC	Autovalor	Importância (%)	Importância (%) acumulada)	Caracteres Biométricos
1	16.37	41.63	41.63	Massa fresca do endocarpo (MFEN)
2	9.41	23.93	65.56	Massa fresca do epicarpo (MFEP)
3	5.12	13.03	78.59	Massa fresca do epicarpo (MFEP)
4	2.37	6.02	84.61	Diâmetro longitudinal do fruto (DLF)
5	1.86	4.74	89.35	Massa seca da polpa (MSP)
6	1.80	4.59	93.93	Massa fresca do epicarpo (MFEP)
7	0.89	2.27	96.20	Massa fresca da amêndoa (MFA)
8	0.56	1.43	97.63	Volume do fruto (VF)
9	0.52	1.32	98.95	Massa fresca do endocarpo (MFEN)
10	0.25	0.64	99.60	Massa seca da amêndoa (MSA)
11	0.16	0.40	100.00	Massa fresca da polpa (MFP)

Para fins de melhoramento, é essencial que se faça a escolha de genitores que formem uma excelente população base com ampla variabilidade genética e maiores médias dos caracteres de interesse. Aliado a isto, foi apresentado graficamente a ocorrência dos sete grupos de acessos formados a partir da classificação segundo o agrupamento de Tocher, onde é possível verificar a tendência de aproximação dos acessos considerados similares de acordo com o grupo identificado (Figura 5). Em complemento aos resultados, foram destacados os cinco acessos (BGP 296, BGP 271, BGP 291, BGP 272 e BGP 256), que obtiveram os maiores índices de massa processável do fruto, caractere importante por representar quantitativamente as fontes de obtenção dos óleos de macaúba, considerados produtos de

maior interesse econômico da cultura. Estes acessos são classificados nos diferentes grupos dissimilares e todos pertencentes as matrizes de Minas Gerais. Resende et al. (2020), em seus estudos de zoneamento agroecológico, considerou Minas Gerais como o estado de grande potencial em produtividade dos frutos de macaúba e de seus diferentes componentes, como verificado no presente trabalho. De acordo com os resultados da caracterização molecular de germoplasma ex-situ, a grande variabilidade verificada entre acessos genéticos de matrizes mineiras, indicam que materiais com procedência de Minas Gerais são promissores para início de um programa de melhoramento (LANES et al., 2015).

A contribuição relativa dos caracteres biométricos de frutos considerados para o estudo da diversidade é apresentada na Tabela 6. De acordo com a estatística proposta por Singh, as variáveis mais importantes são aquelas que mais contribuem para o valor de uma determinada distância envolvendo os pares dos materiais genéticos avaliados (SINGH, 1981). A massa fresca da amêndoa foi a variável que mais contribuiu para a diferenciação dos acessos, com percentual de 30.33% para a dissimilaridade total. A segunda variável mais importante foi o índice de massa processável com a participação de 22.65% da divergência dos acessos. Essas duas variáveis somam mais de 50% da contribuição total e, portanto, consideradas importantes para explicar a diversidade genética entre os 29 acessos do estudo.

**Tabela 6-** Contribuição relativa das variáveis para a diversidade genética entre os 29 acessos de *Acrocomia sp.* baseada na estatística de Singh (1981), aplicada sobre a distância generalizada de Mahalanobis.

<b>Variáveis</b>	<b>S.j</b>	<b>Contribuição relativa (%)</b>
Diâmetro longitudinal do fruto (DLF)	0.00	0.00
Volume do fruto (VF)	0.00	0.00
Espessura média do endocarpo (EE)	2737.22	6.86
Índice de massa processável (IMP)	9036.23	22.65
Massa fresca do epicarpo (MFEP)	3422.81	8.58
Massa fresca da polpa (MFP)	3866.06	9.69
Massa fresca do endocarpo (MFEN)	0.00	0.00
Massa fresca da amêndoa (MFA)	12102.85	30.33
Massa seca do epicarpo (MSEP)	7670.75	19.23
Massa seca da polpa (MSP)	1062.74	2.66
Massa seca da amêndoa (MSA)	0.00	0.00

A variação obtida por esta metodologia para massa fresca da amêndoa e o índice de massa processável, confirmam a importância do estudo desses caracteres para fins de melhoramento e seleção de materiais genéticos potenciais, visto que apresentaram altas

herdabilidades (Tabela 3). Assim, existe a possibilidade de obtenção de ganho por seleção através das variáveis de maior contribuição relativa. Para caracteres físicos dos frutos relacionados a 39 genótipos de um banco de germoplasma da Embrapa Cerrados, a massa do mesocarpo (51.69%) e endocarpo (31.84%) foram identificados como os maiores contribuintes para a diversidade genética da macaúba (SÁ et al., 2019). Em contrapartida, Da Conceição et al. (2015) em seus estudos referente a diversidade genética em populações naturais de macaúba, verificaram que a porcentagem da massa do mesocarpo fresco contribuiu somente com 10.61% da variação total baseada na estatística de Singh. Resultado similar foi obtido pelo presente estudo que também verificou valor próximo de massa fresca da polpa com a contribuição relativa de 9.69% para a diversidade dos acessos avaliados.

#### 4. CONCLUSÃO

Existe variabilidade entre os 29 materiais genéticos de *Acrocomia sp.* estudados, tendo como base caracteres biométricos de frutos. Entre os acessos se destacam o BGP 271 (OMG), BGP 296 (CMG) e BGP 291 (CMG) com valores superiores para caracteres biométricos de importância econômica (MFF, VF, IMP, MFP, MSP).

As estimativas de variância genética, herdabilidade e coeficiente de variação relativa (CVg/CVe) indicaram a possibilidade de uma seleção bem-sucedida de acessos promissores. Os caracteres DTF (0.90), MSEP (0.89), MFF (0.88), IMP (0.87) e DLF (0.86), apresentaram-se com as maiores herdabilidades, caracterizado pela ocorrência de forte controle genético para estas variáveis. A MFA e o IMP são as características que mais contribuem para a dissimilaridade genética dos acessos estudados.

As metodologias de agrupamento UPGMA, Tocher e Projeção 3D por variáveis canônicas revelaram ampla dissimilaridade genética e demonstraram serem eficientes na detecção da diversidade entre os 29 acessos conservados no BAG-Macaúba.

A caracterização biométrica dos frutos considerando a diversidade entre os materiais genéticos foi importante para o estudo de pré-melhoramento da macaúba, e indicou acessos promissores (BGP 271, BGP 272, BGP 296, BGP 291 e BGP 256) para futuros cruzamentos potenciais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARO-SOLÍS, J. D. et al. *Acrocomia aculeata* fruits from three regions in Costa Rica: an assessment of biometric parameters, oil content and oil fatty acid composition to evaluate industrial potential. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 5, p. 1913–1927, 2020.

AMPESE, L. C. et al. Macaúba's world scenario: a bibliometric analysis. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021.

ARAÚJO, M. R. G. et al. Fine-scale spatial genetic structure and gene flow in *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): Analysis in an overlapping generation. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 71, p. 147–154, 2017.

BARBOSA, S. L. et al. Preparation of activated charcoal from *Acrocomia aculeata* for purification of pretreated crude glycerol. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1–9, 2020.

CARDOSO, A. et al. Opportunities and challenges for sustainable production of *A. aculeata* through agroforestry systems. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 573–580, 2017.

CICONINI, G. et al. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 208–214, 2013.

COELHO, R. M. et al. Non-biotic factors determining plasticity of the prospective oil-rich macauba palm (*Acrocomia aculeata*). **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 3, p. 771–782, 2019.

COLOMBO, C. A. et al. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL**, v. 25, n. 1, p. 9, 2018.

COSTA, A. M. et al. Genetic parameters and selection of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) accessions: an alternative crop for biofuels. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 259–266, 2018.

CRUZ, C. D. **Princípios de Genética Quantitativa**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta**

**Scientiarum - Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547–552, 2016.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 2. ed. Viçosa: Suprema, 2020.

DA CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. et al. Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. **BMC Research Notes**, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2015.

DÍAZ, B. G. et al. Genome-wide SNP analysis to assess the genetic population structure and diversity of *Acrocomia* species. **PLoS ONE**, v. 16, n. 7, p. e0241025, 2021.

DOMICIANO, G. P. et al. Parâmetros genéticos e diversidade em progênies de macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 9, p. 1599–1605, 2015.

EVARISTO, A. B. et al. Energy potential of the macaw palm fruit residues and their use in charcoal production. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 2, p. 571–577, 2016.

EVARISTO, A. B. et al. Caracterização Físico-Química De Frutos De Macaúba Provenientes De Três Regiões Do Estado De Minas Gerais. **Revista Agrotecnologia - Agrotec**, v. 8, n. 2, p. 81, 2017.

LANES, É. C. M. et al. Molecular Characterization and Population Structure of the Macaw Palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), Ex Situ Germplasm Collection Using Microsatellites Markers. **Journal of Heredity**, v. 106, n. 1, p. 102–112, 2015.

LIMA, N. E.; MEEROW, A. W.; MANFRIN, M. H. Genetic structure of two *Acrocomia* ecotypes (Arecaceae) across Brazilian savannas and seasonally dry forests. **Tree Genetics and Genomes**, v. 16, n. 4, p. 1–12, 2020.

LORENZI, H. et al. **Flora brasileira Lorenzi arecaceae (palmeiras)**. Nova Odessa: Nova Odessa Instituto Plantarum, 2010.

LUSTRI, E. A. et al. Estimates of genetic parameters for juvenile traits in macaw palm. **Bragantia**, v. 80, n. e2821, 2021.

MACHADO, W. et al. Evaluation of two fruit ecotypes (totai and sclerocarpa) of macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Industrial Crops and Products**, v. 63, p. 287–293, 2015.

MANFIO, C. E. et al. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 1, p. 70–76, 2011.

MANFIO, C. E. et al. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 63–68, 2012.

MENGISTU, F. G.; MOTOIKE, S. Y.; CRUZ, C. D. Molecular characterization and genetic diversity of the macaw palm ex situ germplasm collection revealed by microsatellite markers. **Diversity**, v. 8, n. 4, p. 20, 2016.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359–363, 1977.

MONTOYA, S. et al. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, p. 927–938, 2016.

MONTOYA, S. G. et al. Viability of a macauba palm–*Brachiaria* grass intercropping system as an alternative to agroforestry production. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 4, 2021.

MOTOIKE, S. Y. et al. **A cultura da macaúba implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa: Editora UFV, 2013.

MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, n. 6, p. 632–635, 2009.

RAMOS, M. I. L. et al. Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 90–94, 2008.

REIS, E. F. dos et al. Genetic diversity of macaúba fruits from 35 municipalities of the state of Goiás, Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 4, p. 277–282, 2017.

REIS, S.; MERCADANTE-SIMOES, M.; RIBEIRO, L. Pericarp development in the macaw palm *Acrocomia aculeata* (Arecaceae). **Rodriguesia**, v. 63, n. 3, p. 541–549, 2012.

RESENDE, M. D. V. DE; ALVES, R. S. Linear, Generalized, Hierarchical, Bayesian and

Random Regression Mixed Models in Genetics/Genomics in Plant Breeding. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 2, n. 2, p. 1–31, 2020.

RESENDE, M. D. . **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

RESENDE, R. T. et al. Data-based agroecological zoning of *Acrocomia aculeata*: GIS modeling and ecophysiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 112749, 2020.

ROSADO, R. D. S. et al. Genetic parameters and simultaneous selection for adaptability and stability of macaw palm. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 291–296, 2019.

SÁ, S. F. DE et al. Caracterização Físico-Oleífera De Frutos De Genótipos De Macaúba Conservados Em Banco De Germoplasma. **Agrotropica (Itabuna)**, v. 31, n. 1, p. 37–44, 2019.

SÁ, S. F. DE et al. Genetic diversity via REML-BLUP of ex situ conserved macauba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] ecotypes. **Genetic Resources and Crop Evolution**, p. 1–12, 2021.

SILVA, L. C. C. et al. Genetic Diversity and Structure of Macaw Palm: Implications for Genetic Variability Sampling. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, 2017.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237–245, 1981.

VIANNA, S. A. et al. Biometric Characterization of Fruits and Morphoanatomy of the Mesocarp of *Acrocomia* Species (Arecaceae). **International Journal of Biology**, v. 9, n. 3, p. 78, 2017.

VIANNA, S. A. A new species of *Acrocomia* (Arecaceae) from Central Brazil. **Phytotaxa**, v. 314, n. 1, p. 45–54, 2017.

## **CAPITULO IV**

### **POTENCIAL E DIVERSIDADE GENÉTICA DE ACESSOS DE MACAÚBA BASEADOS NO RENDIMENTO, COMPOSIÇÃO E COLORAÇÃO DO ÓLEO DA POLPA**

## **POTENCIAL E DIVERSIDADE GENÉTICA DE ACESSOS DE MACAÚBA BASEADOS NO RENDIMENTO, COMPOSIÇÃO E COLORAÇÃO DO ÓLEO DA POLPA**

### **RESUMO**

Considerando a sustentabilidade e maiores produtividades, a macaúba possui grande potencial para uso industrial. O óleo de seus frutos é composto por diferentes ácidos graxos e antioxidantes naturais que podem ser utilizados em diversos produtos. Com boas perspectivas de exploração para os setores alimentícios, energéticos e fármaco-cosméticos, estudar a variabilidade genética da espécie, aliado aos critérios de seleção de materiais genéticos promissores quanto a caracteres dos óleos, auxiliarão nos estudos de melhoramento e aplicabilidade industrial do produto. Assim, objetivou-se com este estudo, avaliar o potencial oleífero e a diversidade genética existente entre os 29 acessos pertencentes ao BAG-Macaúba. Foram avaliados os caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo da polpa. Os dados foram submetidos a análise de variância, as estimativas de correlação e a análise multivariada por meio das metodologias de Tocher e UPGMA, em seguida a contribuição relativa dos caracteres também foi realizada. Adicionalmente, foi realizado o estudo da consistência da diversidade genética entre as matrizes de dissimilaridade. Os acessos apresentaram médias de rendimento de 49.69% e 2.95 kg/planta, no teor e produção de óleo por planta, respectivamente. O teor médio de carotenoides foi 102.75  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  com variação de 13.74  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  a 532.61  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  entre os acessos. Os ácidos graxos com maiores proporções foram os ácidos oleico, palmítico e linoleico. A intensidade da cor vermelha no óleo ( $a^*$ ) apresentou alta correlação positiva com o teor de carotenoides e negativa com o parâmetro hue. As metodologias de agrupamento UPGMA e Tocher demonstraram serem eficientes ao estudar a diversidade com formação de 3 a 6 grupos entre os conjuntos de caracteres de óleo avaliados. Os acessos procedentes de MG se destacaram nos caracteres de rendimento do óleo, enquanto que os procedentes de MS e Paraguai se destacaram para caracteres de composição do óleo. Os caracteres mais importantes para a discriminação dos acessos foram o teor de óleo na polpa, produção de óleo por planta, teor de carotenoides, ácido palmítico, ácido palmitoleico, ácido linoleico,  $L^*$ ,  $b^*$  e hue. Existe alta variabilidade genética entre os acessos caracterizados e excelente desempenho nos caracteres oleíferos da polpa para as diversas aplicações industriais, com grande potencial de exploração em programa de melhoramento da macaúba.

**Palavras-chave:** Acrocomia. Variabilidade. Perfil de ácidos graxos.

## POTENTIAL AND GENETIC DIVERSITY OF MACAUBA ACCESSIONS BASED ON YIELD, COMPOSITION AND COLOR OF THE PULP OIL

### ABSTRACT

Considering sustainability and higher yields, the macauba palm has great potential for industrial uses. The oil from its fruits is composed of different fatty acids and natural antioxidants that can be applied in different products. With good prospects for exploration for the food, energy and pharmaceutical-cosmetic sectors, studying the genetic variability of the species, combined with the criteria for selecting promising genetic materials in terms of oil characters, will help in studies of improvement and industrial applicability of the product. Thus, the objective of this study was to evaluate the oil potential and the existing genetic diversity among the 29 accessions belonging to the BAG-Macaúba. The characters of yield, composition and color of the pulp oil were evaluated. Data were subjected to analysis of variance, correlation estimates and multivariate analysis using Tocher and UPGMA methodologies, then the relative contribution of characters was also estimated. Additionally, a study of the consistency of genetic diversity between the dissimilarity matrices was carried out. The accessions showed average yields of 49.69% and 2.95 kg/plant, in terms of oil content and production per plant, respectively. The average carotenoid content was 102.75  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , ranging from 13.74  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  to 532.61  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  between accessions. The fatty acids with the highest proportions were oleic, palmitic and linoleic acids. The intensity of the red color in the oil ( $a^*$ ) showed a high positive correlation with the carotenoid content and a negative correlation with the hue parameter. The clustering methodologies UPGMA and Tocher proved to be efficient when studying the diversity with formation of 3 to 6 groups among the sets of oil characters evaluated. The accessions from MG stood out in oil yield characters, while those from MS and Paraguay also stood out for oil composition characters. The most important characters for the discrimination of the accessions were the oil content in the pulp, oil production per plant, carotenoid content, palmitic acid, palmitoleic acid, linoleic acid,  $L^*$ ,  $b^*$  and hue. There is high genetic variability among the characterized accessions and excellent performance in the oleiferous characters of the pulp for the various industrial applications, with great exploitation potential in macauba breeding programs.

**Keywords:** Acrocomia. Variability. Fatty acid profile.

## 1. INTRODUÇÃO

A população mundial possui cerca de 7.7 bilhões de pessoas e, de acordo com o panorama global de padrões e perspectivas demográficas, há estimativas de que em 2050 possa chegar a 9.7 bilhões (ONU, 2019). Como consequência desse aumento populacional e da maior expectativa de vida humana, maiores produções de alimentos, óleos vegetais e de energia sustentável serão necessárias, porém estas precisam considerar a viabilidade econômica e a redução de possíveis impactos sociais e ambientais.

As maiores produções de óleos vegetais no mundo contam com quatro principais oleaginosas fornecedoras, a palma de óleo, também conhecida como dendê, a soja, a canola e o girassol, que juntas somam aproximadamente 91% de todo óleo vegetal no mundo com 188.95 milhões de toneladas produzidas em 2020/2021. Dentre elas, 59.17 milhões de toneladas de óleo (28.65%) foram fornecidos por soja. O Brasil atualmente responde por mais de um terço da produção mundial de soja sendo o maior produtor e exportador (USDA, 2022). No entanto, existe a preocupação de que uma única cultura corresponda a maioria do óleo produzido de um país, existindo a necessidade da diversificação da matriz de oleaginosas e que estas sejam de maiores rendimentos para atender as demandas futuras (COLOMBO et al., 2018; LIMA et al., 2018; ROSADO et al., 2019). Considerando sustentabilidade e maiores produtividades, a fim de aliviar a demanda por óleo de soja e dendê, as palmeiras oleaginosas nativas são consideradas de amplo potencial de uso comparadas com outras espécies (DEL RÍO et al., 2016; LUSTRI et al., 2021; MOTOIKE et al., 2013).

A palmeira oleífera macaúba (*Acrocomia* sp.), possui grande potencial agroindustrial. De acordo com Colombo et al. (2018), a produtividade estimada da macaúba pode chegar a 5000 L de óleo.ha.ano<sup>-1</sup>, selecionando-se os melhores genótipos em condições naturais. Semelhantemente, Santin et al. (2017) descreveram a macaúba como matéria-prima promissora para produção de biodiesel visto sua alta capacidade de produção de óleo que varia de 1.5 a 5 t/ha/ano, perdendo apenas em produtividade pelo óleo de palma (NAVARRO-DÍAZ et al., 2014). Essa elevada capacidade oleífera e a riqueza de variabilidade na composição de seus óleos a constitui como uma importante alternativa de fonte oleaginosa vegetal e de subprodutos sustentáveis e lucrativos para abastecimentos de vários setores industriais (ALFARO-SOLÍS et al., 2020; CARDOSO et al., 2017; CICONINI et al., 2013; COSTA et al., 2016; GRUPIONI et al., 2020; MACHADO et al., 2015; XAVIER; COSTA, 2020). Ainda, merece destaque o aproveitamento integral dos frutos, que com a geração de

coprodutos, agregam valor na própria cadeia produtiva (COLOMBO et al., 2018; LUSTRI et al., 2021; MOTOIKE; KUKI, 2009; PIRES et al., 2013; REIS et al., 2017; SÁ et al., 2019).

Segundo Xavier e Costa (2020), os diferentes ácidos graxos e elementos antioxidantes que compõem o óleo da macaúba apresentam excelentes características para utilização alimentícia, energética e fármaco-cosmética. Assim, quantificar caracteres de rendimento e composição dos óleos dos frutos auxiliarão na aplicabilidade industrial do produto de maior interesse da cultura. O óleo da polpa é geralmente caracterizado com maiores teores de ácidos oleico (C18:1) e palmítico (C16:0), ricos em  $\beta$ -caroteno, enquanto que o óleo da amêndoa apresenta maior composição de ácido láurico (C12:0) e oleico (C18:1) de coloração mais clara e/ou incolor (AMARAL et al., 2011; CICONINI et al., 2013; COIMBRA; JORGE, 2011; DEL RÍO et al., 2016; HIANE et al., 2005; RAMOS et al., 2008). A diversidade da *Acrocomia* sp. também pode ser avaliada por meio da coloração de seus óleos. A cor do óleo da polpa de macaúba varia desde o amarelo claro até o laranja-avermelhado e essa variação pode ser atribuída ao rico conteúdo de  $\beta$ -caroteno presente no fruto, como relatado por Edem (2002) para óleo de palma (*Elaeis guineenses*). Contudo, análises de correlação serão importantes nas avaliações dos parâmetros colorimétricos do óleo da polpa.

O melhoramento genético tende a influenciar nos caracteres produtivos e de composição do óleo dos frutos, podendo garantir superioridade em atributos quantitativos e qualitativos do óleo (XAVIER; COSTA, 2020). O estudo da variabilidade genética entre plantas no programa de melhoramento genético, além de avaliar as diferentes espécies e suas adaptações ambientais, permite orientar a seleção de parentais para o planejamento dos cruzamentos que garantem maiores ganhos genéticos e desenvolvimento de cultivares superiores (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020; REIS et al., 2019; SILVA et al., 2017).

Os trabalhos sobre a distribuição e diversidade genética da espécie, aliado aos critérios de seleção de materiais genéticos promissores quanto ao rendimento, composição do óleo e correlações correspondentes, são indispensáveis para a domesticação e o desenvolvimento de variedades comerciais eficientes de macaúba (CABRERA et al., 2022; REIS et al., 2017; VARGAS-CARPINTERO et al., 2021). Embora já existam pesquisas da produtividade e identificação dos componentes dos óleos da macaúba, trabalhos que avaliam a diversidade genética dos acessos baseados em caracteres de composição e coloração do óleo, ainda são raros e incipientes.

Visto o potencial da macaúba como fonte alternativa de óleo vegetal, estudos que proporcionem identificar a variabilidade fenotípica e os possíveis genótipos promissores, são essenciais e impulsionarão cultivos comerciais da palmeira. Portanto, focando nos aspectos de

produtividade e caracterização do óleo da polpa, a presente investigação objetivou avaliar o potencial oleífero e a diversidade genética existente entre os 29 acessos genéticos pertencentes ao BAG-Macaúba.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área Experimental e Material Vegetal

Foram avaliados 29 acessos genéticos (família de meio-irmãos) pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba da Universidade Federal de Viçosa (BAG-Macaúba/UFV) localizado na Unidade da Estação Experimental de Araponga – Minas Gerais (20° 40'S, 42° 31'W). Os acessos utilizados no estudo compõem a gleba VI do BAG-Macaúba e são provenientes de diversas regiões de origem cujas localidades das matrizes estão descritas na Tabela 1. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com duas repetições composto por parcelas de três plantas no espaçamento de 5 x 5 m.

**Tabela 1-** Identificação dos materiais genéticos da Gleba VI presentes no BAG-Macaúba e as respectivas localidades e regiões de origem das matrizes dos 29 acessos avaliados.

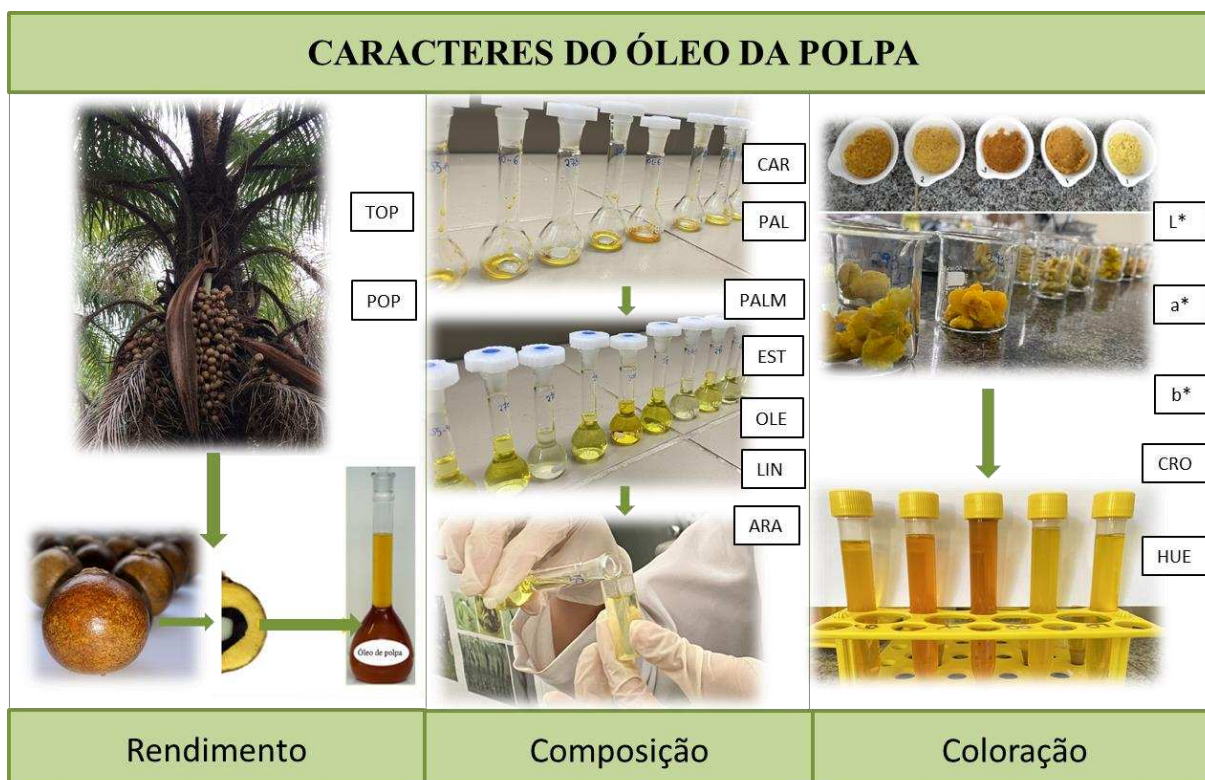
Acesso	Código do BAG	Localidade Matriz	Região
1	<b>BGP 254</b>	Bom Despacho-MG	Central de Minas
2	<b>BGP 255</b>	Alexânia-GO (EMBRAPA)	Centro Oeste do Brasil
3	<b>BGP 256</b>	Alfenas-MG	Sul de Minas
4	<b>BGP 261</b>	Belo Horizonte-MG	Metropolitana de BH
5	<b>BGP 264</b>	Belo Horizonte-MG	Metropolitana de BH
6	<b>BGP 265</b>	Belo Horizonte-MG	Metropolitana de BH
7	<b>BGP 266</b>	Campo Grande-MS	Centro Oeste do Brasil
8	<b>BGP 267</b>	Coração de Jesus-MG	Norte de Minas
9	<b>BGP 269</b>	Descalvado-SP	Sudeste do Brasil
10	<b>BGP 270</b>	Divinópolis-MG	Oeste de Minas
11	<b>BGP 271</b>	Formiga-MG	Oeste de Minas
12	<b>BGP 272</b>	Ingaí-MG (EMBRAPA)	Campos das Vertentes
13	<b>BGP 274</b>	Lavras-MG	Sul de Minas
14	<b>BGP 275</b>	Luz-MG	Central de Minas
15	<b>BGP 278</b>	Ipojuca (Nossa Senhora do Ó) - PE	Nordeste do Brasil
16	<b>BGP 281</b>	Pirapora-MG	Norte de Minas
17	<b>BGP 283</b>	Pirapora-MG	Norte de Minas
18	<b>BGP 285</b>	Ponta Porã-MS	Centro Oeste do Brasil
19	<b>BGP 287</b>	Santa Cruz do Rio Pardo-SP	Sudeste do Brasil
20	<b>BGP 288</b>	São Carlos-SP	Sudeste do Brasil
21	<b>BGP 290</b>	São Jose do Rio Pardo-SP	Sudeste do Brasil
22	<b>BGP 291</b>	Serra da Saudade-MG	Central de Minas

23	<b>BGP 292</b>	São João Del Rey-MG	Campos das Vertentes
24	<b>BGP 293</b>	Taquaritinga-SP	Sudeste do Brasil
25	<b>BGP 296</b>	Três Marias-MG	Central de Minas
26	<b>BGP 297</b>	Varginha-MG	Sul de Minas
27	<b>BGP 300</b>	Varzea da palma-MG	Norte de Minas
28	<b>BGP 301</b>	Itaiguá-Central	Paraguai
29	<b>BGP 302</b>	Bocaiuva-MG	Norte de Minas

## 2.2. Avaliação dos caracteres do óleo da polpa

Os frutos coletados foram referentes à safra 2019/2020 conforme a disponibilidade de plantas produtivas no ano da avaliação. Foram colhidos os cachos que apresentaram indicativo do ponto de colheita, caracterizado pela abscisão natural dos frutos. No momento da colheita foi realizada a contagem dos frutos por planta e retirada amostras dos mesmos devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Pós-Colheita da Macaúba pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa.

Os caracteres avaliados foram divididos em três grupos (Figura 1): 1) Rendimento do óleo: teor de óleo da polpa e produção de óleo por planta; 2) Composição do óleo: teor de carotenoides e perfil de ácidos graxos; e 3) Coloração: Parâmetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Cromo e Hue).



**Figura 1-** Representação ilustrativa dos caracteres do óleo da polpa avaliados em frutos dos 29 acessos genéticos do BAG-Macaúba. TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; CAR: carotenoides; PAL: ácido Palmítico (C16:0); PALM: ácido Palmitoleico (C16:1) EST: ácido Estéarico (C18:0); OLE: ácido Oleico (C18:1); LIN: ácido Linoleico (C18:2); ARA: ácido Araquídico (C20:0); L\*: luminosidade; a\*: presença das cores verde e vermelha; b\*: presença das cores azul e amarelo; CRO: croma (saturação); HUE: tonalidade. Fonte: Corella, D. L. B. (2022).

### 2.2.1. Rendimento do Óleo

A quantificação do teor de óleo da polpa (TOP, %) foi realizada utilizando-se frutos despulpados e a polpa seca em estufa com circulação e renovação de ar a uma temperatura de 65°C por 48 horas. Após a secagem, as polpas foram maceradas e homogeneizadas. Em triplicatas retirou-se uma grama do material acondicionando-os em cartuchos de papel filtro analítico que também foram secos e pesados anteriormente sem a amostra (P) e depois com a amostra (P1). Estas foram imediatamente colocadas no extrator de óleos e graxas Soxhlet padrão (modelo MA 044/850 MARCONI) para realização do método adaptado 032/IV de extração direta, utilizando como solvente orgânico o *n-hexano*, conforme metodologia constituída pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008). Após a extração, os cartuchos com as amostras secas foram pesados novamente (P2) para o cálculo do teor de óleo em porcentagem a partir da diferença entre a massa da amostra inicial e a massa final calculado pela expressão a seguir:

$$TO (\%) = \frac{P1-P2}{P1-P} \times 100, \text{ onde:}$$

TO (%): teor de óleo em porcentagem;

P: peso do cartucho;

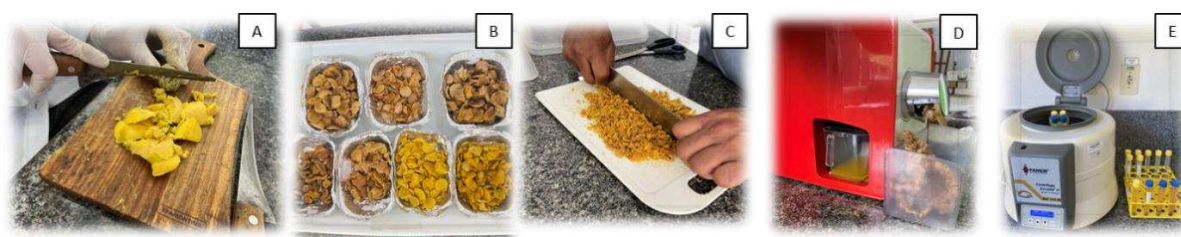
P1: peso do cartucho contendo a amostra antes da extração do óleo;

P2: peso do cartucho contendo a amostra após a extração do óleo.

A produção de óleo por planta (POP, Kg) foi obtida por meio do produto: (número de frutos totais da planta) x (massa seca da polpa) x (teor de óleo), de acordo com Costa et al. (2018).

### 2.2.2. Composição do Óleo

Para a obtenção e a caracterização do óleo da polpa, foram utilizadas amostras de dez frutos por planta. Os frutos foram despulpados (Figura 2A) e a polpa seca em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C por 24h (Figura 2B). Logo após a secagem as polpas foram trituradas (Figura 2C) para que em seguida fosse realizada a extração do óleo por meio da Extrator de Óleo Gourmet modelo MQO001/Home Up (Figura 2D). O óleo extraído foi devidamente centrifugado a 3300 rpm para eliminação de resíduos de impurezas (Figura 2E), transferidos para tubos de polipropileno tipo Falcon de 15 ml envolto por papel alumínio e armazenado à temperatura de -20°C para posteriores análises do teor de carotenoides, perfil de ácidos graxos e colorimetria do óleo.



**Figura 2** - Obtenção do óleo da polpa dos frutos de macaúba. Fonte: Corella, D. L. B. (2022).

Para a análise de carotenoides no óleo da polpa (CAR,  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) foi utilizada a metodologia estabelecida por Rodriguez-Amaya (2001). Uma alíquota de óleo foi transferida para um balão volumétrico de 10 mL e o volume foi completado com éter de petróleo. A leitura das amostras foi realizada em duplicatas em um espectrofotômetro UVmini-1240/Shimadzu com comprimento de onda de 450 nm e o valor de coeficiente de

absortividade de 2592. Os carotenoides foram expressos como  $\beta$ -caroteno, em microgramas por grama de óleo ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). A concentração total de carotenoides foi obtida por meio da seguinte expressão:

$$x (\mu\text{g/g}) = \frac{A \times V \times 10^4}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \times m}$$

em que:

$x$  ( $\mu\text{g/g}$ ) é o peso ou concentração do carotenoide;

$A$  é a absorbância a 450 nm;

$V$  é o volume final da amostra (mL);

$A_{1\text{cm}}^{1\%}$  é o coeficiente de absorção do  $\beta$ -caroteno em éter de petróleo (2592);

$m$  é o peso da amostra (g).

Para a análise do perfil de ácidos graxos as amostras de óleo foram preparadas realizando-se a transesterificação por catálise básica conforme a metodologia descrita por Mir e Ghoreishi (2015) com adaptações. Inicialmente foi feita uma diluição de 200  $\mu\text{L}$  de óleo em 5 mL de n-hexano P.A. >99 %/Sigma Aldrich. Em seguida, 50  $\mu\text{L}$  do óleo diluído foi pipetado a um tubo falcon com adição de 2 mL de n-hexano P.A. >99 %/Sigma Aldrich e 200  $\mu\text{L}$  de uma solução a 0.5 mol.L<sup>-1</sup> de hidróxido de potássio (KOH) em metanol. A solução em duplicatas foi submetida a agitação a 600 rpm por 15 min em vórtex e em seguida utilizando-se uma seringa de 3 ml com a adição de sulfato de sódio anidro (para eliminar umidade restante da amostra), um volume aproximado de 2 ml foi coletado e filtrado em filtro microbiológico de teflon de 0.22  $\mu\text{m}$  transferindo a amostra em frascos de vidros (vials de 2 ml) para análise do perfil de ácidos graxos.

As amostras de óleo foram caracterizadas de acordo com o perfil de ácidos graxos analisados por cromatografia gasosa utilizando um cromatógrafo modelo GC 2010 Plus/Shimadzu com injetor automático, detector por ionização de chama (FID) e coluna de sílica capilar SP-2560/Sigma Aldrich, com filme de 0.14  $\mu\text{m}$  de espessura, 75 m de comprimento e 0.18 mm de diâmetro interno. A temperatura do injetor e do detector foi de 240 °C. Foi injetado um volume de 0.5  $\mu\text{L}$  de amostra e a razão de *split* de 1:50. O fluxo do gás N<sub>2</sub> de arraste foi 0.41 mL/min e a pressão da coluna de 176.1 kPa. A temperatura inicial da coluna foi 150 °C com tempo de espera de 5 minutos. Em seguida a uma taxa de 2°C por

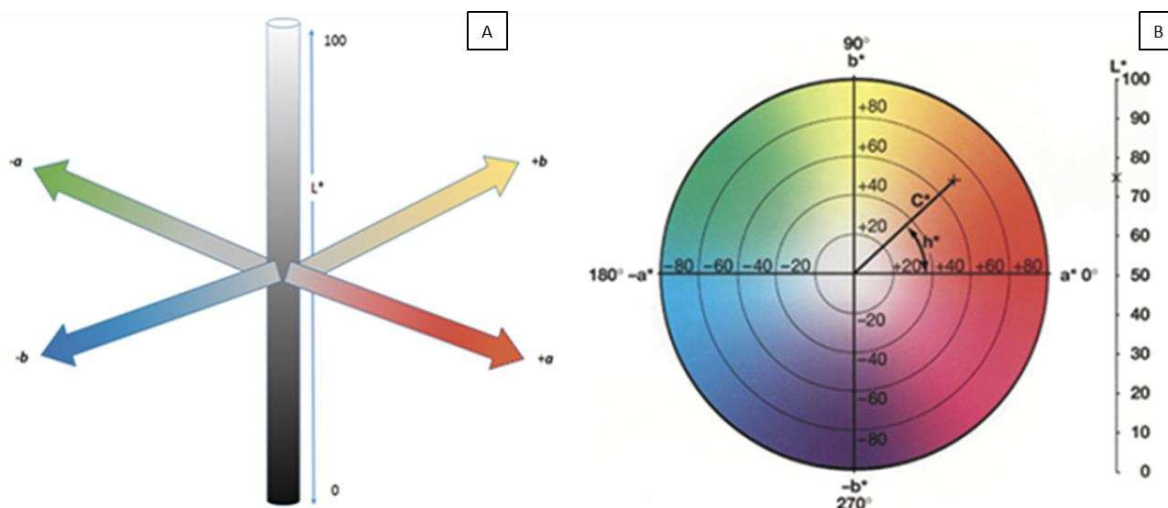
minuto foi aquecida até 180 °C permanecendo nesta temperatura por 12 minutos. Logo após, a uma taxa de 4 °C por minuto, a temperatura foi elevada até 220 °C permanecendo por 3 minutos, posteriormente o sistema foi resfriado para uma nova injeção de amostra.

A identificação e a curva analítica dos ácidos graxos foram realizadas por meio de comparação dos tempos de retenção com os dos padrões analíticos, utilizando o conjunto de padrões SUPELCO/EUA, composto por 37 ésteres metílicos de ácidos graxos (C4:0 a C24:1). A identificação dos ácidos graxos foi realizada de acordo com os tempos de retenção e a quantificação obtida por normalização da área em porcentagem (%).

### 2.2.3. Análise Colorimétrica do Óleo

As análises de coloração dos óleos da polpa foram realizadas em Colorímetro ColorQuest® XE (Hunter Lab, Reston, VA) com leitura direta dos valores das coordenadas L\* (luminosidade), a\* (intensidade de vermelho vs verde) e b\* (intensidade de amarelo vs azul). Para tanto, foi preciso transferir os óleos para uma cubeta de vidro de 10 ml para leitura individual no colorímetro.

O modelo de cor CIE L\*a\*b\* apresenta uma diferenciação de cores definidas em três eixos perpendiculares: a coordenada colorimétrica L\* eixo principal com variação do 0=preto ao 100=branco (maiores valores de L indicam cores mais claras e conseqüentemente os menores valores representam cores mais escuras); a coordenada a\* que varia do verde (-a) ao vermelho (+a) e a coordenada b\* com variação do azul (-b) ao amarelo (+b) como apresentado na Figura 3A. O modelo de cor L\*C\*h° também representa a coordenada L\* (luminosidade) que varia do preto (0) ao branco (100); a coordenada C\* (cromaticidade) que indica a saturação representada pela distância radial do centro do espaço até o ponto da cor (valores mínimos de saturação - cores neutras - encontra-se no centro do espaço e valores máximos - cores puras - nas extremidades) e o h° (ângulo hue) que considera o ângulo de 0° (+a) como a cor vermelha pura, o ângulo de 90° (+b) como a cor amarelo puro, o ângulo de 180° (-a) como verde puro, e o ângulo de 270° (-b), azul puro como apresentado na Figura 3B.



**Figura 3** – Espaço de cor CIE L\*a\*b\* (A) e L\*C\*h° (B). Fonte: Adaptado de Ferreira e Spricigo (2017).

Os parâmetros referentes a saturação (CRO) e a tonalidade (HUE) representados esquematicamente na Figura 4, foram calculados a partir dos valores de  $a^*$  e  $b^*$  segundo as expressões abaixo:

$$CRO = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$HUE = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

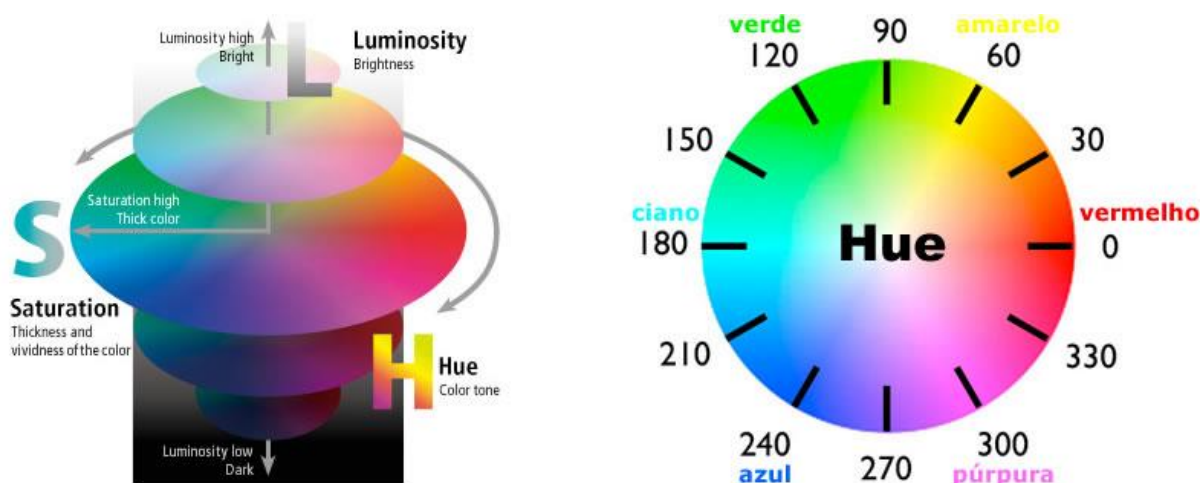
em que:

CRO é o índice de saturação (cromaticidade);

HUE é o índice de tonalidade;

$a^*$  é a intensidade de vermelho vs verde;

$b^*$  é a intensidade de amarelo vs azul.



**Figura 4** – Representação da interpretação de cores com o uso dos parâmetros Hue, saturação e luminosidade. Fonte: Silva (2020).

### **2.3. Análises estatísticas**

Por meio dos dados relacionados a caracterização do óleo da polpa foi realizada a análise de variância (ANOVA) referente aos diferentes acessos estudados, para verificação da ocorrência de variabilidade genética entre eles. Estimativas de correlações fenotípicas pelo método de Pearson foram realizadas para verificar o grau de associação entre todos os caracteres avaliados.

Para o estudo da diversidade genética foram considerados os três conjuntos de caracteres separadamente: (1) Rendimento do óleo; (2) Composição do óleo e (3) Coloração do óleo. Os procedimentos estatísticos multivariados basearam-se nas distâncias genéticas entre os acessos a partir da distância generalizada de Mahalanobis, como medida de dissimilaridade. Os agrupamentos foram obtidos por meio de técnicas hierárquicas - UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) - e de otimização (Tocher) de acordo com as informações de dissimilaridade entre os acessos. Para a formação dos grupos pelo método hierárquico foi utilizado o valor referencial de corte pelo critério de Mojena (1977), e como regra de parada na definição do número de grupos valor de  $k=1.25$ , sugerido por Milligan e Cooper (1985).

A contribuição relativa dos caracteres também foi estimada para a divergência total entre os 29 acessos genéticos, utilizando a estatística de Singh (1981). Adicionalmente, as matrizes de distâncias baseadas nos caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo, foram submetidas ao teste de Mantel com nível crítico estabelecido após 5000 permutações, para verificação da consistência da diversidade nos diferentes conjuntos de caracteres por meio da significância da correlação entre as três matrizes de distâncias. As análises foram realizadas utilizando-se o software Genes (CRUZ, 2016) com integração do R.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Variabilidade e Caracterização do óleo da polpa**

Para os caracteres de óleo da polpa houveram diferenças significativas a 1% e a 5% de probabilidade, evidenciando grande variabilidade genética entre os 29 acessos. A Tabela 2 apresenta os quadrados médios obtidos da análise de variância para os três conjuntos de caracteres. Esta alta variabilidade genética entre caracteres de importância econômica é

fundamental para o sucesso do melhoramento genético que permitirá maiores avanços na consolidação do cultivo da macaúba (COSTA et al., 2018; REIS et al., 2019).

Na avaliação de quinze famílias de meios-irmãos de macaúba houve grande variabilidade genética entre os acessos estudados, atribuindo a mesma à pressão de seleção e as estratégias de adaptação genética as diferentes regiões de ocorrência no Brasil (ROSADO et al., 2019). Tal fenômeno pode também ter ocorrido nos acessos das diversas procedências avaliados no estudo, em que a expressão da variabilidade do germoplasma adaptativo pode estar associada as condições ambientais específicas da região eco-geográfica onde suas matrizes, e antecessores, se desenvolveram. Segundo Araújo et al. (2017), a macaúba é uma das palmeiras de maior dispersão geográfica no Brasil, com ocorrência natural na maior parte do território. Isso a caracteriza como uma espécie com adaptabilidade a condições ambientais adversas inclusive podendo ser encontrada em áreas mais secas ou expostas a maior degradação ambiental.

**Tabela 2** - Resumo da Análise de Variância para caracteres de rendimento, composição, ácidos graxos saturados (AGS), ácidos graxos monoinsaturados (AGMI), ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) e parâmetros colorimétricos do óleo da polpa dos 29 acessos de macaúba.

Caracteres	QMA	QMR	F	Mín	Máx	MG	CV%
<b>Rendimento do Óleo</b>							
Teor de óleo da polpa (TOP)	293.48	42.41	6.92**	21.10	70.76	49.69	13.10
Produção de óleo por planta (POP)	7.38	3.19	2.32*	0.07	10.46	2.95	60.46
<b>Composição do Óleo</b>							
Carotenoides	12163.71	1779.94	6.83**	13.74	532.61	102.75	41.06
Ácido Palmítico (C16:0)	42.93	7.03	6.11**	12.29	31.48	20.47	12.95
Ácido Palmitoleico (C16:1)	7.97	1.33	5.97**	1.06	11.80	3.65	31.68
Ácido Esteárico (C18:0)	1.64	0.73	2.24*	1.70	6.75	4.06	21.03
Ácido Oleico (C18:1)	171.07	43.92	3.89**	30.22	81.93	57.98	11.43
Ácido Linoleico (C18:2)	43.48	7.58	5.74**	0.39	26.35	12.39	22.22
Ácido Araquídico (C20:0)	0.16	0.07	2.24*	0.43	2.24	0.92	29.57
AGS	48.53	7.46	6.51**	14.66	38.79	25.47	10.72
AGMI	142.89	22.82	6.26**	36.45	83.08	62.14	7.69
AGPI	43.48	7.58	5.74**	0.39	26.35	12.39	22.22
<b>Parâmetros Colorimétricos</b>							
L*	84.38	10.61	7.95**	42.61	69.77	54.25	6.00
a*	95.82	10.47	9.15**	0.67	37.82	12.39	26.13
b*	193.74	34.43	5.63**	27.30	71.06	46.15	12.71
Croma	151.65	34.13	4.44**	28.66	71.06	48.62	12.02
Hue	198.05	16.22	12.20**	41.85	89.41	73.97	5.45

QMA: quadrado médio dos acessos; QMR: quadrado médio do resíduo; F:QMA/QMR; Mín: mínimo valor observado; Máx: máximo valor observado; MG: média geral; CV%: coeficiente de variação experimental. \*\*, \*: Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

### 3.1.1. Rendimento do Óleo

A média geral dos 29 acessos avaliados para o teor de óleo na polpa (TOP) foi de 49.69%. Valores próximos para o teor de óleo da polpa de macaúba também foram observados por outras literaturas (COSTA et al., 2018; DA CONCEIÇÃO et al., 2015; EVARISTO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2021; SÁ et al., 2019; TILAHUN; GROSSI; FAVARO, 2022). O TOP variou de 21.10% a 70.76% entre os diferentes acessos (Tabela 2). Estes resultados corroboram com Sá et al. (2019) que encontraram entre os genótipos estudados uma variação de 22.53% a 68.69% no teor de óleo do mesocarpo. Alfaro-Solís et al. (2020) sugerem que a origem geográfica dos genótipos possui forte influência no teor de óleo da polpa de macaúba nas regiões da Costa Rica. Segundo Machado et al. (2015), além do grau de maturação dos frutos, os fatores genéticos e ambientais são os que mais contribuem para a variação dos teores lipídicos.

Dentre os acessos estudados a polpa de maior destaque, pertencente ao acesso BGP 275, apresentou mais de 70.00% de óleo em sua massa seca, valor este três vezes a mais que a polpa da planta com o menor teor de óleo (21.10%) encontrado no acesso BGP 297 (Tabela 3). Teores baixos de óleo de polpa também foram verificados por Ciconini et al. (2013), em plantas de macaúba do estado de Mato Grosso do Sul com média de 25.10% de óleo, muito inferior aos 70.76% encontrados em plantas de MG no presente trabalho. Em plantas do estado de MG a variação 'para mais' dos caracteres produtivos foi em parte atribuída as condições de temperatura locais, com temperatura mais elevadas influenciando de forma positiva principalmente o TOP (RESENDE et al., 2020).

Para a produção de óleo por planta (POP), houve elevada amplitude de variação, estando entre 0.07 Kg a 10.46 Kg de óleo por planta. A média geral para os 29 acessos foi de 2.95 Kg de óleo por planta (Tabela 2), produtividade acima das encontradas por Vianna et al. (2021) com média de 0.96 kg de óleo por planta em populações nativas de Corumbá-MS e por Costa et al. (2018) ao avaliarem o rendimento de óleo de acessos do BAG-Macaúba em que obtiveram média de 1.11 Kg de óleo/planta. Cabe ressaltar que no presente estudo houveram plantas com elevadas produtividades, apresentando valores de produção maior que 10 Kg de óleo por planta, como verificado no acesso BGP 302 (Tabela 3). Este dado é de suma importância para o programa de melhoramento da macaúba quando se deseja selecionar indivíduos superiores. A alta produtividade de óleo da macaúba, resultante de populações melhoradas em condições ótimas de cultivo, possibilitaria ainda mais a expansão das indústrias do setor de óleos vegetais (AMPESE et al., 2021).

**Tabela 3** - Valor médio dos caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo da polpa dos 29 acessos de macaúba.

Acesso	Bloco	Rendimento do óleo		Composição do óleo										Parâmetros Colorimétricos do óleo				
		TOP	POP	CAR	PAL	PALM	EST	OLE	LIN	ARA	AGS	AGMI	AGPI	L*	a*	b*	CRO	HUE
BGP 254	1	64.37	4.14	93.90	21.20	4.41	4.80	60.08	9.07	0.43	26.43	64.50	9.07	52.31	14.39	43.12	45.46	71.55
BGP 254	2	67.59	7.12	69.51	18.49	3.08	6.21	59.06	12.43	0.72	25.43	62.14	12.43	54.44	12.64	48.50	50.15	75.39
BGP 255	1	35.63	1.07	44.16	22.55	3.70	5.01	60.92	6.54	0.76	28.84	64.62	6.54	51.16	15.93	41.88	44.34	69.21
BGP 255	2	35.52	1.92	62.31	23.07	3.33	5.16	60.33	6.84	0.75	29.50	63.66	6.84	50.53	15.36	40.77	43.73	68.91
BGP 256	1	48.54	6.65	14.56	22.79	3.13	4.67	54.95	13.56	0.90	28.36	58.07	13.56	57.39	3.87	42.33	42.51	84.79
BGP 256	2	42.35	0.51	18.46	26.18	2.78	3.42	47.90	17.59	2.14	31.74	50.68	17.59	56.53	2.82	46.79	46.87	86.55
BGP 261	1	52.55	4.08	57.83	17.82	5.19	2.76	57.80	15.28	1.15	21.74	62.99	15.28	62.31	7.16	60.57	61.02	83.36
BGP 261	2	51.88	1.99	58.64	19.21	4.96	3.58	57.28	13.90	1.06	23.85	62.24	13.90	60.46	11.06	56.31	57.62	78.02
BGP 264	1	55.25	0.58	57.14	28.58	5.85	4.03	44.07	16.69	0.78	33.39	49.92	16.69	49.25	6.53	36.60	37.43	80.07
BGP 264	2	53.74	4.44	57.66	31.48	5.56	6.55	42.76	12.89	0.76	38.79	48.32	12.89	47.96	0.67	31.83	31.84	88.79
BGP 265	1	55.18	5.01	106.33	26.07	8.52	4.02	42.44	17.99	0.96	31.05	50.96	17.99	52.80	11.13	44.88	46.74	74.85
BGP 265	2	45.05	2.87	68.72	25.09	6.59	4.52	46.45	16.12	1.24	30.84	53.04	16.12	51.22	8.01	41.09	42.05	78.93
BGP 266	1	34.47	1.39	153.15	12.35	1.15	1.70	81.93	2.03	0.84	14.89	83.08	2.03	45.30	23.68	33.23	40.80	54.53
BGP 266	2	26.43	0.29	196.33	20.05	4.46	2.87	61.75	9.57	1.30	24.22	66.21	9.57	44.06	28.73	31.18	42.65	47.41
BGP 267	1	54.40	2.06	189.45	15.06	1.88	4.48	64.97	12.97	0.65	20.19	66.84	12.97	55.43	22.14	50.15	54.99	66.20
BGP 267	2	48.87	3.45	177.57	21.30	3.91	3.23	58.45	12.29	0.82	25.35	62.36	12.29	51.14	18.70	42.44	46.60	65.39
BGP 269	1	59.84	6.88	13.74	17.93	1.06	4.87	58.99	16.11	1.04	23.84	60.05	16.11	59.02	2.92	45.73	45.84	86.56
BGP 269	2	46.32	7.42	54.81	21.74	1.53	4.69	55.99	15.06	0.99	27.42	57.52	15.06	65.46	3.96	61.80	61.92	86.33
BGP 270	1	49.97	2.31	130.22	18.65	4.18	2.91	62.94	10.43	0.89	22.45	67.12	10.43	55.52	17.85	49.89	53.01	70.19
BGP 270	2	43.90	1.67	182.37	21.56	4.52	4.00	59.57	9.31	1.04	26.60	64.08	9.31	51.48	20.15	43.59	48.08	65.21
BGP 271	1	56.70	2.96	47.13	22.64	11.80	2.48	51.38	11.09	0.62	25.74	63.18	11.09	58.22	8.80	52.58	53.33	80.49
BGP 271	2	61.78	6.69	30.52	21.73	6.29	3.47	55.68	12.31	0.51	25.72	61.97	12.31	62.46	0.90	56.50	56.51	89.09
BGP 272	1	66.74	4.41	101.02	18.73	3.51	4.25	56.90	15.90	0.72	23.69	60.41	15.90	61.06	13.69	58.45	59.94	77.02
BGP 272	2	66.63	5.26	119.18	19.25	3.14	4.40	56.31	16.20	0.71	24.35	59.45	16.20	60.43	13.12	57.34	59.33	76.72
BGP 274	1	51.02	1.32	69.81	20.18	2.97	4.41	55.56	15.84	1.04	25.63	58.53	15.84	59.10	11.44	55.47	56.64	78.23
BGP 274	2	54.81	1.55	27.24	17.37	3.17	3.24	64.64	10.84	0.74	21.36	67.81	10.84	69.77	0.73	71.06	71.06	89.41
BGP 275	1	70.76	6.92	14.26	12.40	1.66	4.28	42.30	8.57	0.78	17.47	73.97	8.57	63.20	5.13	51.15	50.93	84.29
BGP 275	2	70.65	7.77	32.41	12.92	1.29	4.43	71.71	8.87	0.77	18.13	73.01	8.87	62.57	4.56	50.04	50.32	83.99

BGP 278	1	32.19	0.25	52.15	15.43	2.14	3.66	63.26	14.56	0.95	20.04	65.39	14.56	48.33	7.58	37.57	38.32	78.61
BGP 278	2	32.17	0.48	116.34	16.41	2.55	3.37	61.79	14.99	0.90	20.68	64.34	14.99	42.61	8.43	28.02	29.26	73.26
BGP 281	1	40.80	2.81	92.82	14.03	1.53	4.14	68.76	11.05	0.50	18.66	70.29	11.05	61.74	15.66	59.99	62.00	75.37
BGP 281	2	63.98	4.08	78.87	15.81	1.93	4.09	65.54	12.10	0.53	20.43	67.47	12.10	55.79	9.60	47.29	48.74	76.59
BGP 283	1	54.46	2.07	90.27	19.02	2.68	4.79	67.52	5.40	0.60	24.40	70.20	5.40	55.30	13.05	49.78	51.79	74.49
BGP 283	2	62.99	3.58	61.80	17.75	1.67	6.75	62.56	10.64	0.62	25.12	64.23	10.64	50.50	7.19	40.17	41.03	79.05
BGP 285	1	33.68	0.42	141.28	20.65	3.30	5.82	65.36	3.99	0.88	27.35	68.66	3.99	44.38	17.52	31.18	35.77	60.67
BGP 285	2	33.57	1.27	159.43	21.17	2.93	5.97	64.77	4.29	0.87	28.01	67.69	4.29	43.75	16.95	30.07	35.15	60.37
BGP 287	1	39.38	0.39	44.97	27.27	9.81	3.05	39.68	18.93	1.26	31.58	49.49	18.93	43.10	8.72	27.30	28.66	72.29
BGP 287	2	44.77	2.44	159.14	21.26	5.84	4.06	48.41	19.25	1.19	26.50	54.25	19.25	48.98	13.64	38.36	41.55	69.80
BGP 288	1	54.16	3.91	31.05	26.07	3.10	2.90	49.17	17.75	1.01	29.98	52.27	17.75	54.39	7.87	45.51	46.21	80.22
BGP 288	2	56.63	3.02	42.88	18.65	2.55	4.69	60.96	12.54	0.61	23.95	63.51	12.54	60.19	6.75	55.68	56.12	83.10
BGP 290	1	46.30	2.50	144.75	25.24	2.74	3.38	53.61	14.17	0.85	29.47	56.35	14.17	47.89	13.94	36.71	39.29	69.03
BGP 290	2	41.38	1.60	128.44	29.05	2.87	3.33	45.97	17.84	0.94	33.32	48.84	17.84	49.94	12.19	39.35	41.84	71.24
BGP 291	1	67.87	1.49	47.02	13.97	1.92	4.37	75.33	3.84	0.57	18.91	77.25	3.84	67.81	5.59	68.48	68.71	85.33
BGP 291	2	69.58	4.17	44.96	16.69	3.05	4.05	65.70	9.83	0.68	21.42	68.76	9.83	62.58	8.08	60.10	60.78	82.24
BGP 292	1	25.69	1.70	228.44	23.53	6.06	2.73	48.96	16.49	2.24	28.49	55.02	16.49	56.09	23.18	50.69	55.74	65.43
BGP 292	2	46.28	4.93	152.67	22.57	4.47	4.39	50.50	17.01	1.06	28.02	54.97	17.01	54.02	17.76	46.83	50.48	69.38
BGP 293	1	37.14	1.89	113.80	28.08	1.35	4.08	44.05	21.39	1.05	33.22	45.40	21.39	52.17	14.48	43.64	45.98	71.64
BGP 293	2	40.50	2.45	148.46	28.41	1.62	1.99	55.34	11.84	0.80	31.20	56.96	11.84	45.57	17.34	32.73	37.04	62.08
BGP 296	1	62.56	2.88	47.59	14.07	2.12	4.03	68.55	10.61	0.63	18.72	70.67	10.61	62.35	9.22	59.74	60.47	81.14
BGP 296	2	63.04	3.86	67.48	12.29	1.49	1.75	73.04	10.81	0.62	14.66	74.53	10.81	65.68	8.42	65.12	65.78	82.42
BGP 297	1	47.25	0.92	43.30	24.25	5.57	5.03	45.96	17.52	1.67	30.94	51.53	17.52	57.67	8.06	54.49	55.10	81.64
BGP 297	2	21.10	0.07	115.36	31.45	6.23	4.50	30.22	26.35	1.25	37.20	36.45	26.35	46.25	14.41	34.08	37.00	67.08
BGP 300	1	51.66	0.20	72.15	14.61	2.39	4.90	69.05	7.84	1.21	20.72	71.44	7.84	54.73	14.10	50.61	51.93	75.01
BGP 300	2	51.55	1.05	90.30	15.13	2.02	5.05	68.46	8.14	1.20	21.38	70.48	8.14	54.10	13.53	49.50	51.32	74.71
BGP 301	1	34.20	0.39	275.99	17.04	2.00	4.31	71.51	4.41	0.72	22.08	73.51	4.41	45.03	26.65	33.50	42.81	51.50
BGP 301	2	29.40	1.59	532.61	17.18	2.94	2.50	75.97	0.39	1.01	20.69	78.92	0.39	45.43	37.82	33.88	50.78	41.85
BGP 302	1	59.84	1.69	198.46	26.01	5.46	3.77	48.93	14.79	1.04	30.82	54.39	14.79	49.31	17.14	39.34	43.01	65.64
BGP 302	2	67.00	10.46	188.53	17.95	3.58	3.79	60.67	13.35	0.66	22.40	64.25	13.35	50.27	17.45	41.85	45.34	67.37

TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; CAR: carotenoides totais; PAL: ácido Palmítico (C16:0); PALM: ácido Palmitoleico (C16:1) EST: ácido Esteárico (C18:0); OLE: ácido Oleico (C18:1); LIN: ácido Linoleico (C18:2); ARA: ácido Araquídico (C20:0); AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; L\*: luminosidade; a\*: presença das cores verde e vermelha; b\*: presença das cores azul e amarelo; CRO: chroma (saturação); HUE: tonalidade.

### 3.1.2. Composição do Óleo

A caracterização química do óleo de macaúba de acordo com a quantificação de carotenoides e dos ácidos graxos existentes auxilia na viabilidade econômica do produto conforme possíveis utilizações, aplicações e consumo dos óleos nos diferentes mercados industriais.

No presente trabalho, a média geral para o conteúdo de carotenoides expressos em  $\beta$ -caroteno foi de  $102.75 \mu\text{g.g}^{-1}$  de óleo entre os acessos estudados (Tabela 2). Para Ramos et al. (2008), o teor de  $\beta$ -caroteno encontrado na polpa de macaúba correspondeu aproximadamente 80% de todos os carotenoides totais avaliados, com valor de  $49.00 \mu\text{g.g}^{-1}$  de  $\beta$ -caroteno em polpa úmida. Em contrapartida, Coimbra e Jorge (2011) relataram média de  $300.01 \mu\text{g.g}^{-1}$  de carotenoides totais expressos em  $\beta$ -caroteno nos óleos de macaúba procedentes de SP. Silva et al. (2015), avaliando o conteúdo de carotenoides em macaúba do Nordeste do Brasil encontraram  $138 \mu\text{g/g}$ . Outras literaturas observaram valores abaixo dos encontrados pelo presente trabalho (ANTONIASI et al., 2020; FONSECA et al., 2021; RAMOS et al., 2008; TILAHUN; GROSSI; FAVARO, 2022).

Os valores de máximo e mínimo observados entre os acessos variou de  $13.74 \mu\text{g.g}^{-1}$  a  $532.61 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Tabelas 2 e 3). O alto valor de carotenoides encontrado em plantas do acesso BGP 301 foi muito superior ( $532.61 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) comparado com os demais acessos avaliados, e merece destaque ao se considerar este caractere em futuras seleções no melhoramento genético de plantas para o maior teor de carotenoides no óleo. Altas concentrações de carotenoides também foram observados por Nunes et al. (2015) com valor de  $378 \mu\text{g/g}$  em óleo bruto de macaúba da região Centro Oeste do Brasil.

O alto teor de carotenoides encontrado em óleos vegetais é importante, pois representam compostos antioxidantes naturais que atuam como agentes mitigadores da oxidação do óleo e, mais importante, como mediadores na prevenção de doenças inflamatórias, cardiovasculares, imunológicas e cancerígenas (RAMOS et al., 2008; RODRIGUES et al., 2013; RODRIGUEZ-AMAYA, 2004). Assim, visto os altos teores de  $\beta$ -caroteno presente no óleo da polpa, a macaúba pode ser uma boa fonte destes compostos bioativos. O  $\beta$ -caroteno apresenta maior atividade pró-vitáminica A e seu adequado consumo através de dietas alimentares fortificantes, pode beneficiar a saúde nutricional humana e auxiliar no combate a doenças relacionadas a hipovitaminose A que provoca cegueira noturna, xerofthalmia, xerodermia e hiperqueratose folicular, ocorrentes no organismo devido a carência

de vitamina A (AMBRÓSIO; CAMPOS; FARO, 2006; COIMBRA; JORGE, 2011; RAMOS et al., 2008; RODRIGUEZ-AMAYA, 2004).

Em indústrias alimentícias, como medida para evitar possíveis oxidações lipídicas indesejáveis, antioxidantes sintéticos são muito utilizados a fim de prolongar a vida útil dos alimentos gordurosos, no entanto, demonstraram efeitos prejudiciais à saúde, como evidenciado em estudos toxicológicos citados por Ramalho e Jorge (2006). Assim, como forma de substituí-los por antioxidantes naturais, o alto teor de carotenoides presente em óleo de macaúba atuaria beneficemente na prevenção de doenças e de oxidação do óleo em setores alimentícios (AMBRÓSIO; CAMPOS; FARO, 2006; FAVARO et al., 2017; RAMOS et al., 2008; TILAHUN; GROSSI; FAVARO, 2022).

Os ácidos graxos do óleo da polpa com maiores proporções foram os ácidos oleico (C18:1) e o palmítico (C16:0) com médias de 57.98% e 20.47%, respectivamente (Tabela 2). Resultados semelhantes foram verificados anteriormente por Da Conceição et al. (2015), Nunes et al. (2015), Alfaro-Solís et al. (2020) e Pasa et al. (2020). Em seguida se destacaram os ácidos graxos linoleico (C18:2) com 12.39%, esteárico (C18:0) com 4.06% e palmitoleico (C16:1) com 3.65%. Para estes mesmos ácidos graxos, Evaristo et al. (2017) avaliando o óleo da polpa de macaúba da Zona da Mata-MG relataram percentuais semelhantes de 12.75%, 3.90% e 2.05% para linoleico, esteárico e palmitoleico, respectivamente. Por último o araquídico (C20:0) participa na média geral da composição dos ácidos graxos com 0.92%, concordando com os resultados observados por De Oliveira et al. (2017) com percentual de 0.90% do ácido araquídico em óleo de polpa de macaúba. Em geral, César et al. (2015), também relataram percentuais próximos aos encontrados no presente estudo, com 53.40% de ácido oleico, 18.70% do ácido palmítico, 17.70% de ácido linoleico, 2.80% de ácido esteárico e 4.00% de ácido palmitoleico na composição de ácidos graxos na polpa de macaúba.

Segundo Cabrera et al. (2022) o óleo de polpa da macaúba é composto em sua maior parte pelo ácido graxo oleico (C18:1) considerado importante e reconhecido na prevenção de doenças. No presente trabalho, os teores médios dos principais ácidos graxos do óleo da polpa de macaúba, assemelhou-se aqueles descritos para o azeite de oliva, considerado como um dos mais importantes óleos no consumo alimentício e benéfico à saúde humana (BOSKOU et al., 2006). A alta composição de ácido oleico em azeite de oliva contribui para sua caracterização como alimento funcional no combate as doenças como a síndrome metabólica (obesidade, resistência à insulina ou intolerância à glicose, dislipidemia e hipertensão arterial) e na prevenção do câncer (PASTOR; BOUZAS; TUR, 2021; WIN, 2005; YAMAGATA et al., 2021). Além disso, ácidos monoinsaturados como o oleico são muito desejáveis nos

setores alimentícios e cosméticos por entrarem na composição de ingredientes fundamentais destas indústrias (CICONINI et al., 2013; NUNES et al., 2015).

Os valores máximos dos ácidos graxos oleico e palmitoleico observados no trabalho foram 81.93% (C18:1) e 11.80% (C16:1) correspondentes aos acessos BGP 266 e BGP 271, respectivamente (Tabelas 2 e 3). Valores elevados de 76.40% de ácido oleico também foram verificados por Alfaro-Solís et al. (2020), ao estudarem o óleo da polpa de macaúba da região de La Palma na Costa Rica. Altos teores de ácido oleico (C18:1) disponíveis em óleos da polpa de macaúba otimiza a produção de biodiesel de alta qualidade por meio da reação de transesterificação, além de aumentar a estabilidade oxidativa do óleo e permitir melhor rendimento na operabilidade de produção em temperaturas mais baixas (AMPESE et al., 2021; NAVARRO-DÍAZ et al., 2014; NUNES et al., 2015; PASA et al., 2020; TRENTINI et al., 2017). Outras literaturas relatam sobre o potencial de produção e a composição de ácidos graxos no biodiesel de óleo de macaúba serem satisfatórias tanto quanto a do óleo de soja, ao apresentarem características físico-químicas favoráveis para uso nas indústrias de biodiesel (CÉSAR et al., 2015; COLOMBO et al., 2018; DEL RÍO et al., 2016; EVARISTO et al., 2016; GRUPIONI et al., 2020; SANTIN et al., 2017).

Os ácidos graxos são representados pelo número de carbonos e qualificados de acordo com o grau de insaturação definido pelo número de ligações duplas entre os átomos de carbono nas cadeias. Nos ácidos graxos saturados (AGS) os carbonos apresentam ligações simples, e os insaturados (AGI) classificados em monoinsaturados (AGMI) e poli-insaturados (AGPI) apresentam uma ligação dupla e duas ou mais ligações duplas, respectivamente (SOUZA; MATSUSHITA; VISENTAINER, 1998).

O grupo dos ácidos graxos saturados (AGS), foram compostos por três ácidos, o palmítico (C16:0), o esteárico (C18:0) e o araquídico (C20:0), apresentando média geral com percentual de 25.47% do perfil total (Tabela 2). Estes resultados concordam com Hiane et al. (2005) e Lescano et al. (2015) que obtiveram 25.52% e 25.01%, respectivamente em suas composições dos ácidos graxos saturados do óleo de polpa da macaúba. Neste trabalho houveram acessos que apresentaram percentuais de destaque para a composição dos ácidos graxos saturados, com valor máximo de 38.79% para óleos do acesso BGP 264 e 37.20% para BGP 297 (Tabela 3).

O óleo de dendê é uma das principais referências como fonte oleaginosa rica em ácidos graxos saturados, valores estabelecidos pela legislação para identidade e qualidade deste óleo, apresentam os teores de 35% - 47% de ácido palmítico, 3.5% - 6.5% de ácido esteárico e < 1.0% de ácido araquídico (ANVISA, 1999). Em razão da sua maior proporção

de ácidos graxos saturados, sobretudo o ácido palmítico na composição do óleo de palma/dendê (*Elaeis Guinensis*), para esta fonte oleaginosa existe uma grande demanda por partes das indústrias alimentícias. Gagliardi; Mancini Filho e Santos (2009), destacaram a aceitação do óleo de palma em setores alimentícios devido sua excelente capacidade de conservação dos alimentos e preservação das características de palatabilidade.

Segundo Hissanaga; Proença e Block (2012), alguns óleos vegetais incluindo os de palma podem substituir as gorduras hidrogenadas, principalmente devido a características físico-químicas desejáveis como a consistência semissólida, maior ponto de fusão e maior estabilidade oxidativa, caracterizada pela composição de ácidos graxos de maior saturação amplamente utilizadas em diversos produtos alimentícios. Nos últimos anos, como forma de minimizar os riscos maléficis de gorduras trans em alimentos industrializados, as indústrias encontraram no óleo de palma uma alternativa equivalente (UNIRIO, 2020). Entretanto, existe o risco de que a demanda por óleo de palma não seja plenamente atendida, cenário que traz oportunidade para fontes substitutas de óleo vegetais, ricos em ácidos graxos saturados, como a macaúba.

O ácido palmítico (C16:0) foi o principal responsável pela maior proporção do grupo dos saturados e seu valor máximo observado no trabalho foi de 31.48% também correspondente ao acesso BGP 264, procedente de matriz de Belo Horizonte-MG (Tabela 3). Contudo, procurando reduzir a utilização de gorduras trans na formulação dos ingredientes, substituindo-os por fontes de AGS que proporcionam características desejáveis de sabor, forma, textura, consistência e estabilidade, têm sido o caminho das indústrias de alimentos. Assim, acessos genéticos que apresentam óleos da polpa com maiores teores de AGS, principalmente ácido palmítico, precisam ser explorados como um dos principais objetivos do programa de melhoramento da macaúba.

Os monoinsaturados representados pelos ácidos palmitoleico (C16:1) e oleico (C18:1) compuseram a maior parte do perfil com participação percentual de 62.14% (Tabela 2). Estes resultados corroboram com Evaristo et al. (2017) e Navarro-Díaz et al. (2014) em que os monoinsaturados palmitoleico e oleico juntos somaram 62.07% e 62.20%, respectivamente, no perfil de ácidos graxos de macaúba de MG. Por fim, o linoleico (C18:2) como ácido graxo poli-insaturado correspondeu a 12.39% no total do perfil baseando-se na média geral dos acessos. Valor próximo para o teor de ácido linoleico foram observados por Antoniassi et al. (2020), Evaristo et al. (2017) e Silva et al. (2015), com 12.40%, 12.75% e 11.78% respectivamente. No entanto, para Lieb et al. (2019) o teor de ácido linoleico encontrado em

polpa de frutos da Costa Rica foi de somente 2.90%, valor inferior ao observado no presente trabalho.

O linoleico (Ômega-6), assim como o linolênico (Ômega-3) são ácidos graxos poli-insaturados essenciais ao organismo, e, portanto, devem ser supridos por meio da alimentação. Segundo Souza; Matsushita e Visentainer (1998), a composição de ácidos graxos influenciam nos resultados do lipograma do sangue, em que os ácidos graxos poli-insaturados tendem a diminuir os níveis de colesterol total e do colesterol ruim (LDL) no sangue, enquanto que alguns dos ácidos graxos saturados tendem a aumentar esse nível. Nesse sentido, a ingestão alimentar de fontes oleaginosas ricas em ácidos poli-insaturados contribui com a redução do risco de desenvolvimento de doenças inflamatórias e cardiovasculares como a aterosclerose, por exemplo (CORSINI et al., 2008; MARTIN et al., 2006). No estudo, houveram plantas que produziram até 26.35% para este ácido poli-insaturado encontrado em óleos do acesso BGP 297 (Tabela 3).

Dentre os 29 materiais genéticos avaliados no presente estudo, o acesso BGP 255 com matriz procedente de Alexânia-GO, foi o único que apresentou em seu perfil de ácidos graxos porcentagens mínimas de ácido láurico (C12:0) com cerca de 0.52%. Percentual acima do encontrado no presente trabalho foi obtido por Amaral et al. (2011) com 1.56% de ácido láurico em óleo da polpa de frutos de macaúba coletados em Botucatu-SP. Por outro lado, Barreto et al. (2016) e De Oliveira et al. (2017) encontraram 0.32% e 0.40% de ácido láurico na polpa de populações naturais de MG e de MS, respectivamente.

### 3.1.3. Parâmetros Colorimétricos do Óleo

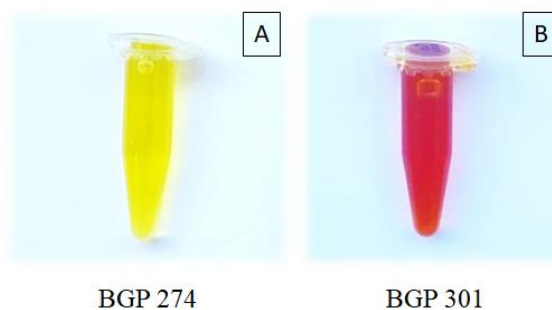
Outros caracteres que possibilitam informar sobre a qualidade do óleo da macaúba são os relacionados aos parâmetros de cor, avaliados geralmente por meio da colorimetria. Diversos segmentos industriais, inclusive os alimentícios, se beneficiam da avaliação de cores na padronização de processos e aplicabilidades do produto final. Além disso, o que mais torna o uso da colorimetria interessante é a possibilidade de utilizar as análises de cor para substituir técnicas laboriosas de determinação de componentes (FERREIRA; SPRICIGO, 2017). Valores médios de L\*, a\*, b\*, croma e hue podem ser observados na Tabela 2.

No estudo, os óleos da polpa apresentaram coloração com diversas intensidades entre o amarelo e o vermelho como verificados nos valores positivos de a\* e b\* (Tabela 2 e Figura 3). Os valores médios dos 29 acessos avaliados para luminosidade (L\*), coloração vermelha

(+a\*) e coloração amarela (+b\*) foram 54.25, 12.39 e 46.15, respectivamente. Para os mesmos parâmetros de cor, França et al. (2019) em seus estudos caracterizaram inicialmente a coloração do óleo da polpa de macaúba como 72.47 para L\*, 5.39 para a\* e 86.55 para b\*, com valores de coloração amarelo superiores aos encontrados no presente trabalho.

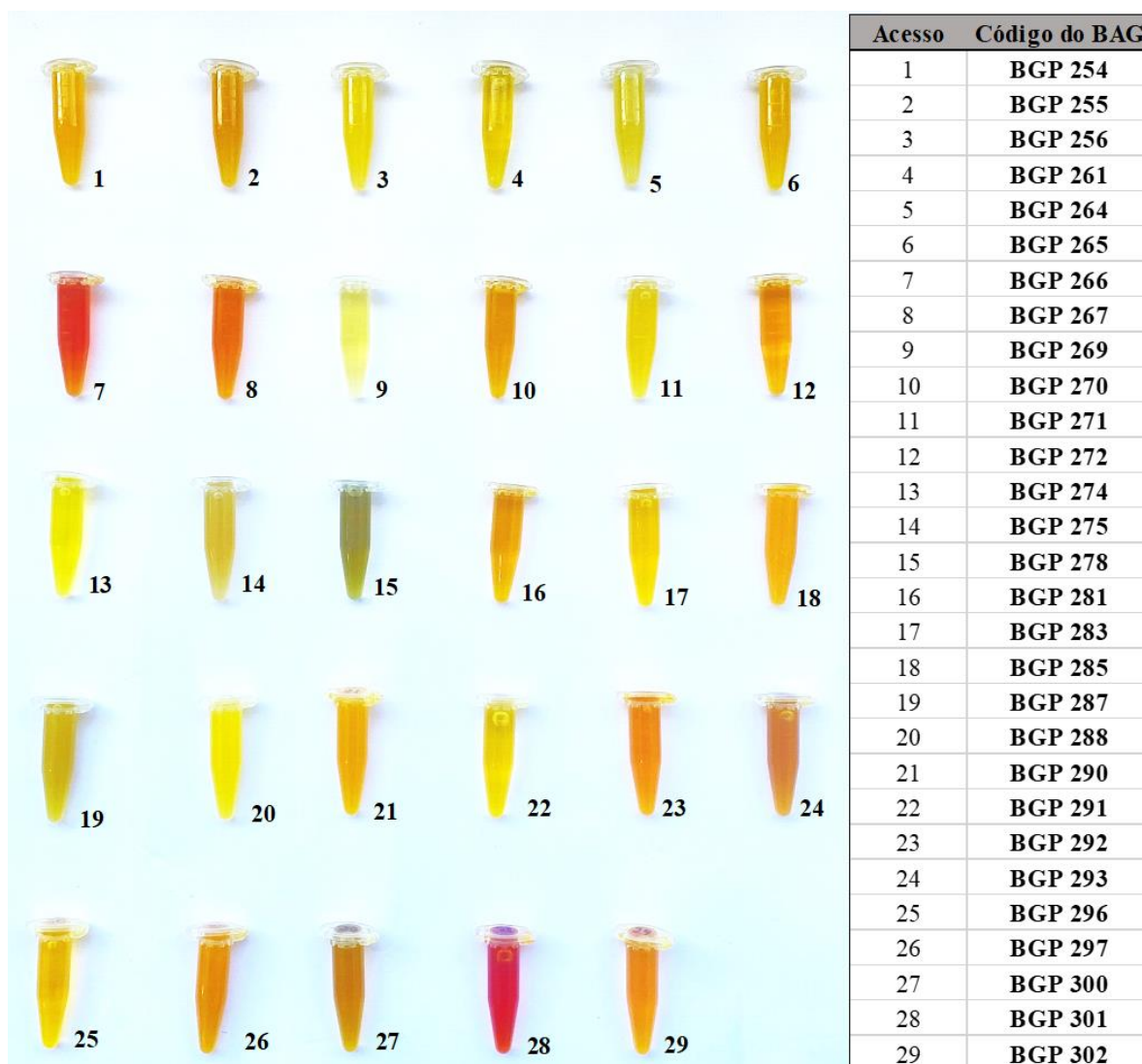
O parâmetro de cor hue representa o ângulo de tonalidade medido em graus no espaço L\*C\*h° (FERREIRA; SPRICIGO, 2017). No presente trabalho o ângulo hue variou de 41.85° a 89.41°, com valores correspondendo ao primeiro quadrante de cores do modelo L\*C\*h° (Figura 4).

Houveram significativas amplitudes de variação relacionados aos parâmetros de cor estudados, conferindo aos óleos dos acessos diferenças na coloração que variaram desde o amarelo mais claro ao vermelho intenso. Os maiores valores para luminosidade (L\*), coloração amarela (+b\*), saturação (croma) e tonalidade (hue) foram observados no acesso BGP 274 com procedência da matriz na região Sul de MG (Figura 5A). O óleo com maior intensidade de cor vermelha (+a) foi verificado no acesso BGP 301 proveniente de matriz de Paraguai, concordando com o de maior teor de carotenoides informado anteriormente (Figura 5B, Tabelas 2 e 3).



**Figura 5** – Óleos pertencentes aos acessos BGP 274 (A) e BGP 301 (B). Fonte: Corella, D. L. B. (2022).

A variabilidade da coloração do óleo da polpa referente aos 29 acessos do BAG-Macaúba além de verificada nos resultados obtidos da análise de variância e nos valores de mínimos e máximos dos componentes de cor avaliados, também foi possível confirmar a variação da coloração visualmente por meio da variabilidade ilustrativa dos óleos representativos de cada acesso, como apresentado na Figura 6.



**Figura 6** - Variabilidade ilustrativa dos óleos de polpa dos 29 acessos de macaúba pertencentes a gleba VI do banco de germoplasma. Fonte: Corella, D. L. B. (2022).

De acordo com Colombo et al. (2018), os óleos extraídos da macaúba são de composição semelhante aos obtidos por outras culturas fortemente inseridas no mercado e, portanto, apresentam excelentes perspectivas de diversificação na aplicação industrial para setores alimentícios, cosméticos, farmacêuticos e energéticos. Mais informações detalhadas sobre potenciais aplicações da macaúba nos diversos fins industriais e que geraram importantes patentes, são apresentados nos estudos de Ampese et al. (2021) e Xavier; Costa (2020).

### 3.2. Estimativas de Correlação Fenotípica

Para verificação do grau de associação entre as variáveis avaliadas, foram obtidas as correlações fenotípicas entre os caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo. A

diferenciação das grandezas das correlações foi classificada como muito fraca (0.00 - 0.19), fraca (0.20 - 0.39), moderada (0.40 - 0.69), forte (0.70 - 0.89) e muito forte (0.90 - 1.00) (SHIMAKURA e RIBEIRO JUNIOR, 2006). As estimativas de correlação de Pearson com teste t a 1% e a 5% de probabilidade estão apresentadas na Tabela 4.

Em relação aos caracteres de rendimento de óleo, correlações positivas de forte magnitude foram observadas entre TOP e POP (0.72) e TOP e L\* (0.71), enquanto que as correlações moderadas foram TOP: com o parâmetro de cor b\* (0.67), com CRO (0.57) e com HUE (0.62) e POP: com parâmetro de cor L\* (0.54), com b\* (0.41) e com HUE (0.46). Estas correlações positivas indicam que para os óleos dos acessos estudados existe a possibilidade de que os pares de caracteres podem influenciar favoravelmente em seu aumento simultâneo, ou seja, quanto maior o teor de óleo na polpa, maior será a produção de óleo por planta. Também foram observadas associações significativas dos caracteres TOP: com CAR (-0.45), com ácido ARA (-0.54) e com o parâmetro de cor a\* (-0.51) classificadas como correlações negativas de magnitude moderada. Valores negativos para análise de correlação indicam que os acessos de polpa mais oleosa (>TOP) tendem a produzirem óleos com teores mais baixos de carotenoides, de ácido araquídico e menor intensidade de cor vermelha.

As correlações significativas do teor de óleo da polpa variaram entre -0.45 a 0.72, estes resultados podem auxiliar em futuras estratégias de seleção e melhoramento de macaúba para esses caracteres em especial. Segundo Ciconini et al. (2013) e Reis et al. (2019), determinar o grau de associação entre características de produção com outros caracteres de interesse é fundamental na determinação de estratégias de seleção de plantas perenes para garantir maior rapidez e eficiência nos resultados do programa de melhoramento.

Não houve correlação significativa entre o conteúdo de carotenoides e o teor dos diferentes ácidos graxos, indicando ausência de relação entre esses caracteres relacionados aos componentes do óleo. Em relação ao perfil dos ácidos graxos, destacam-se fortes correlações positivas entre ácido palmítico (PAL) e AGS (0.98), ácido oleico (OLE) e AGMI (0.94) e entre o ácido linoleico (LIN) e AGPI (0.99). Estas correlações são esperadas entre os resultados do trabalho, pois o ácido palmítico (C16:0), oleico (C18:1) e linoleico (C18:2) são os que mais contribuem para a composição que definem os ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, respectivamente. Para este mesmo conjunto de caracteres as associações entre ácido PAL: com ácido OLE (-0.84) e com AGMI (-0.90); ácido OLE: com LIN (-0.84), com AGS (-0.82) e com AGPI (-0.84); LIN com AGMI (-0.87); AGS com AGMI (-0.89) e AGMI com AGPI (-0.87) foram consideradas como fortes correlações negativas, ou seja, para essas variáveis correlacionadas a ocorrência de um componente graxo

refletirá negativamente em função do outro. Correlações moderadas positivas (0.40-0.60), também foram observadas entre os caracteres de composição do óleo da polpa.

Para os parâmetros colorimétricos do óleo houveram correlações de magnitude muito forte ( $>0.90$ ) entre as variáveis de cor  $L^*$  e  $b^*$  (0.97) e  $L^*$  e CRO (0.90), entre o parâmetro de cor  $a^*$  e HUE (-0.96) e entre o parâmetro de cor  $b^*$  e CRO (0.96). De acordo com as correlações estudadas os óleos de maior luminosidade também foram os que apresentaram coloração amarela de maior saturação e que os óleos de maior intensidade do vermelho são representados por ângulos hue de menores valores, conforme modelo CIE  $L^*a^*b^*$  e  $L^*C^*h^\circ$  (Figuras 3 e 4). Entre o parâmetro de cor  $L^*$  e  $a^*$  (-0.56) e entre  $a^*$  e  $b^*$  (-0.44) foram obtidas correlações moderadas negativas.

Vale destacar as correlações de magnitude muito forte positiva e negativa encontradas entre o caractere CAR: com  $a^*$  (0.90) e com HUE (-0.88), respectivamente. Estas correlações indicam que os óleos com maiores concentrações de carotenoides também foram os que apresentaram maior intensidade de coloração vermelha e conseqüentemente menores valores para o ângulo hue, conforme correlação negativa verificada. Esta alta correlação entre parâmetro de cor e a concentração de carotenoides, possibilita a utilização de análises colorimétricas não destrutivas para caracterização de carotenoides em óleo da polpa de macaúba. Assim, estes resultados viabilizam o uso de modelos matemáticos de regressão linear múltipla para a predição direta de compostos bioativos com base em uma análise colorimétrica mais rápida e econômica, como verificados por Patsilidakos et al. (2018) e Rigolon et al. (2020). Além disso, segundo Ferreira e Spricigo (2017), a técnica da colorimetria pode ser utilizada em estudos de correlações entre caracteres de interesses agrônômicos auxiliando na seleção de plantas superiores em programas de melhoramento genético.

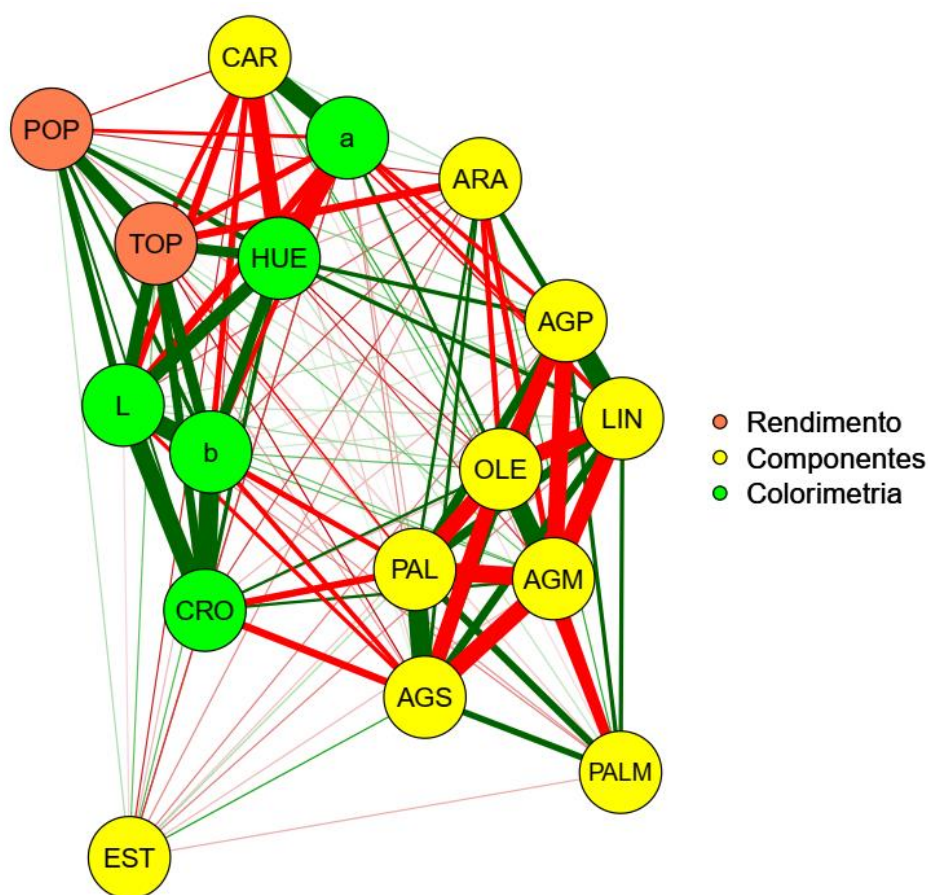
Poucas correlações entre o perfil de ácidos graxos e os caracteres de rendimento e coloração do óleo foram observadas no presente trabalho. Em geral, os resultados da análise de correlação sugerem que os acessos que possuem óleos mais claros ( $>$  luminosidade) de coloração amarela tendem a ser os que produziram maior teor de óleo na polpa e conseqüentemente maior produção de óleo por planta, bem como são os que também apresentaram saturação e ângulo hue moderados com menores concentrações de carotenoides.

**Tabela 4** - Correlação de Pearson entre caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo da polpa avaliado em 29 acessos de macaúba.

Caracteres	TOP	POP	CAR	PAL	PALM	EST	OLE	LIN	ARA	AGS	AGMI	AGPI	L*	a*	b*	CRO	HUE
<b>TOP</b>	1	0.72**	-0.45*	-0.31	-0.06	0.18	0.08	-0.01	-0.54**	-0.30	0.18	-0.01	0.71**	-0.51**	0.67**	0.57**	0.62**
<b>POP</b>		1	-0.30	-0.12	-0.02	0.10	-0.14	0.15	-0.27	-0.11	-0.01	0.15	0.54**	-0.38*	0.41*	0.33	0.46*
<b>CAR</b>			1	-0.03	-0.04	-0.26	0.26	-0.31	0.09	-0.07	0.21	-0.31	-0.56**	0.90**	-0.47*	-0.22	-0.88**
<b>PAL</b>				1	0.51**	0.10	-0.84**	0.60**	0.37*	0.98**	-0.90**	0.60**	-0.39*	-0.11	-0.42*	-0.50**	0.01
<b>PALM</b>					1	-0.10	-0.61**	0.40*	0.25	0.48**	-0.50**	0.40*	-0.15	-0.11	-0.13	-0.18	0.08
<b>EST</b>						1	-0.07	-0.15	-0.14	0.28	-0.08	-0.15	-0.05	-0.24	-0.08	-0.18	0.21
<b>OLE</b>							1	-0.84**	-0.45*	-0.82**	0.94**	-0.84**	0.12	0.37*	0.20	0.35	-0.30
<b>LIN</b>								1	0.45*	0.55**	-0.87**	0.99**	0.08	-0.42*	0.06	-0.09	0.40*
<b>ARA</b>									1	0.38*	-0.47*	0.45*	-0.21	0.09	-0.23	-0.22	-0.12
<b>AGS</b>										1	-0.89**	0.55**	-0.39*	-0.14	-0.42*	-0.52**	0.04
<b>AGMI</b>											1	-0.87**	0.18	0.31	0.21	0.35	-0.24
<b>AGPI</b>												1	0.08	-0.42*	0.06	-0.09	0.40*
<b>L*</b>													1	-0.56**	0.97**	0.90**	0.73**
<b>a*</b>														1	-0.44*	-0.19	-0.96**
<b>b*</b>															1	0.96**	0.63**
<b>CRO</b>																1	0.40*
<b>HUE</b>																	1

TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; CAR: carotenoides; PAL: ácido Palmítico (C16:0); PALM: ácido Palmitoleico (C16:1) EST: ácido Esteárico (C18:0); OLE: ácido Oleico (C18:1); LIN: ácido Linoleico (C18:2); ARA: ácido Araquídico (C20:0); AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; L\*: luminosidade; a\*: presença das cores verde e vermelha; b\*: presença das cores azul e amarelo; CRO: croma (saturação); HUE: tonalidade.\*\* e \*: significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

A Figura 7 destaca os diferentes conjuntos de variáveis representadas em uma rede de similaridade de acordo com a correlação de Pearson, e confirmam os resultados dos caracteres fortemente correlacionados entre si. Os componentes do óleo representados pela coloração amarela apresentam maiores correlações negativas entre si indicadas pelas linhas de conexão vermelha de maior espessura. Entre os parâmetros de cor do óleo (verde claro) pode ser observado maiores interações positivas representadas pelas linhas de conexão de maior espessura. Em relação aos caracteres de rendimento, estes apresentaram maiores correlações positivas entre si e também entre os caracteres relacionados a coloração dos óleos. Poucas correlações significativas (linhas de conexão de maior espessura) entre os componentes de ácidos graxos do óleo com os demais caracteres foram observadas no presente trabalho (Figura 7 e Tabela 4). À medida que as espessuras de linhas de conexão se reduzem correlações moderadas a muito fracas são expressadas pela rede de similaridade apresentada.



**Figura 7** - Rede de Similaridade baseada na Correlação de Pearson com teste t a 1 e 5% de probabilidade para as caracteres de rendimento, composição e colorimetria do óleo da polpa: teor de óleo da polpa (TOP); produção de óleo por planta (POP); carotenoides (CAR); ácido Palmítico (PAL); ácido Palmitoleico (PALM); ácido Esteárico (EST); ácido Oleico (OLE); ácido Linoleico (LIN); ácido Araquídico (ARA); ácidos graxos saturados (AGS); ácidos graxos monoinsaturados (AGM); ácidos graxos poli-insaturados (AGP); luminosidade (L); presença das cores verde e vermelha (a); b\*: presença das cores azul e amarelo (b); croma saturação (CRO) e tonalidade (HUE).

### 3.3. Diversidade Genética e Potencial Oleífero

O método de agrupamento de Tocher, baseado na distância de Mahalanobis, separou os 29 materiais genéticos de macaúba em cinco, quatro e seis grupos relacionados aos caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo, respectivamente (Tabela 5). A classificação dos acessos em diferentes grupos de formação para os caracteres de óleo da polpa, confirma a divergência genética existente entre os acessos estudados, como verificado nos resultados de ampla variabilidade pela ANOVA (Tabela 2).

Em relação aos caracteres de rendimento de óleo, houve a formação de cinco grupos divergentes. O grupo I foi formado por 14 de acessos genéticos com a maioria procedentes de matrizes do estado de Minas Gerais e somente três acessos de São Paulo (Tabela 5). Resultado semelhante foi verificado no estudo de Mengistu; Motoike e Cruz (2016), em que o método de Tocher distribuiu os materiais procedentes de seis estados brasileiros em quatro grupos sendo o primeiro grupo composto por somente populações de macaúba de MG.

O grupo II reuniu oito acessos (BGP 266, BGP 301, BGP 285, BGP 278, BGP 297, BGP 255, BGP 293 e BGP 292) que apesar de serem provenientes de diferentes origens geográficas (Tabela 1), por esta metodologia foram considerados plantas geneticamente similares e, portanto, indica que possíveis cruzamentos desses acessos entre si reduzem a possibilidade de descendentes com maior variabilidade. O grupo III foi formado pelos acessos BGP 254, BGP 272, BGP 302, BGP 275 e BGP 296 ambos procedentes de matrizes de MG.

Os últimos grupos formados separaram os acessos BGP 291 e BGP 269 de matrizes procedentes de MG e SP, respectivamente. Este comportamento reporta a alta dissimilaridade genética verificada nesses últimos acessos, onde o método de Tocher permitiu isolá-los, indicando a grande diversidade entre si e entre os grupos formados, visto que também se tratava de acessos considerados destaques nos caracteres de teor e produção de óleo (Tabela 5). Bispo et al. (2020), avaliando a divergência genética em acessos da palmeira buriti também obteve genótipo agrupado de forma isolada, considerado como o mais dissimilar entre eles. Segundo o autor, para este acesso os frutos se destacaram como os que apresentaram maiores tamanhos e pesos, diversidade possivelmente explicada pela variação típica do seu material genético ou por alguma influência ambiental ocorrente.

**Tabela 5** - Agrupamento de 29 acessos de macaúba pelo método de otimização de Tocher baseado na distância de Mahalanobis para caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo da polpa.

Rendimento do óleo	
Grupos	Acessos
I	BGP261 BGP267 BGP281 BGP288 BGP264 BGP265 BGP270 BGP274 BGP283 BGP271 BGP300 BGP290 BGP256 BGP287
II	BGP266 BGP301 BGP285 BGP278 BGP297 BGP255 BGP293 BGP292
III	BGP254* BGP272* BGP302* BGP275* BGP296
IV	BGP291*
V	BGP269*
Composição do óleo	
Grupos	Acessos
I	BGP267* BGP302* BGP270 BGP272 BGP281 BGP274 BGP278 BGP254 BGP291* BGP288 BGP269 BGP296* BGP261 BGP266* BGP300* BGP283 BGP292* BGP256 <b>BGP265*</b> <b>BGP297*</b> BGP255 BGP287 <b>BGP290*</b> <b>BGP264*</b> BGP275 BGP285
II	BGP271
III	<b>BGP293*</b>
IV	BGP301*
Coloração do óleo	
Grupos	Acessos
I	BGP265 BGP283 BGP297 BGP290 BGP254 BGP255 BGP302 BGP293 BGP287 BGP300 BGP270* BGP267* BGP288 BGP281 BGP261 BGP292* BGP272 BGP271 BGP296 BGP274 BGP291
II	BGP256 BGP269
III	BGP266* BGP301*
IV	BGP264 BGP278
V	BGP285
VI	BGP275

\*: acessos em destaque com desempenho superior em relação aos conjuntos de caracteres avaliados. Texto em negrito: acessos superiores em ácido palmítico e ácidos graxos saturados.

As análises de agrupamento fornecem informações sobre a dissimilaridade genética entre os acessos, separando-os em grupos à medida que são considerados divergentes. Este estudo de diversidade aliada a informações sobre os acessos que apresentam caracteres de interesse superiores, auxilia no processo do melhoramento da macaúba, para que se concentrem esforços nos cruzamentos que garantem a expressão máxima da heterose. Para seleção de plantas em programas de melhoramento genético, é essencial que o teor de óleo seja avaliado como um dos caracteres mais importantes na caracterização das plantas, uma vez que este se destaca como o de maior interesse econômico (EVARISTO et al., 2017). Neste sentido, foram evidenciados os acessos que mais se destacaram em caracteres de

rendimento do óleo, sendo eles pertencentes aos grupos III, IV e V da metodologia de Tocher (Tabela 5).

Os acessos segundo os maiores teores de óleo foram o BGP 275, BGP 291, BGP 272, BGP 254 e o BGP 302, ambos de matrizes procedentes de MG com valores próximos a 70% de óleo (Tabela 5, Tabela 3 e Figura suplementar 1). Estudo prévio também indicou genótipo de MG com valor máximo do teor de óleo da polpa, apresentando ~ 69% (SÁ et al., 2019). Ao que parece, ao menos para populações naturais de macaúba, a região central do Estado de MG, que abrange a transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado, apresenta as condições climáticas mais favoráveis para o desempenho superior de plantas e frutos (RESENDE et al., 2020).

Para POP, os acessos mais produtivos foram o BGP 275, BGP 269 e o BGP 302 de matrizes procedentes de MG e SP (Tabela 5, Tabela 3 e Figura suplementar 2). Evidentemente os resultados do trabalho apontam que acessos procedentes dos estados de SP e principalmente MG são os que apresentam as melhores características relacionadas a produtividade de óleo. Estudos anteriores também relataram resultados semelhantes (DA CONCEIÇÃO et al., 2015; EVARISTO et al., 2017; LANES et al., 2015; RESENDE et al., 2020; SÁ et al., 2022). Segundo Díaz et al. (2021), a maior diversidade genética para *Acrocomia aculeata* foi verificada no Brasil e complementou destacando elevada variabilidade sobretudo nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

Contudo, foi possível identificar os acessos bons e os divergentes entre si conforme suas alocações no agrupamento de Tocher (Tabela 5). Estes acessos devem ser priorizados em cruzamentos direcionados, uma vez que genitores geneticamente distantes tendem a não compartilhar muitos genes em comum, contribuindo para uma maior complementariedade gênica e manifestação do vigor híbrido em gerações segregantes para o desenvolvimento de cultivares superiores (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020; DA CONCEIÇÃO et al., 2015; SÁ et al., 2021; VARGAS-CARPINTERO et al., 2021). Estes resultados relacionados aos caracteres importantes da produtividade de óleo fornecem subsídios para a seleção de acessos que devem compor o grupo de parentais ideais da macaúba em estudos futuros.

Para o conjunto de caracteres de composição do óleo, observou-se a formação do menor número de grupos (4), em relação aos demais (rendimento e coloração do óleo). O grupo I reuniu quase 90% dos acessos (26), constituindo-se como o maior grupo formado. Três acessos se destacaram por sua dissimilaridade genética e agruparam-se isoladamente, sendo eles: o BGP 271 com matriz de procedência em MG (grupo II); o BGP 293 com procedência de SP (grupo III) e o BGP 301 procedente de matriz com origem geográfica de

Paraguai (grupo IV). Semelhantemente, Coser et al. (2016), avaliando 52 acessos de macaúba, pela metodologia de Tocher também verificaram formação de quatro grupos distintos, em que o grupo I reuniu 92% dos acessos e os demais grupos separaram os acessos de procedências de Minas Gerais dos de São Paulo.

Em complemento aos resultados do agrupamento de Tocher, foram destacados os acessos que apresentaram maior concentração de carotenoides e de ácido oleico em seus óleos (Tabela 5, Tabela 3 e Figuras suplementares 3 e 4). Para estes caracteres, sete acessos destacados se concentram no grupo I (BGP 267, BGP 302, BGP 291, BGP 296, BGP 266, BGP 300 e BGP 292), considerados geneticamente similares de acordo com a metodologia testada. Por outro lado, o acesso BGP 301, isolado no grupo IV, também se destacou para os caracteres avaliados, apresentando os maiores valores entre os acessos estudados tanto para o teor de ácido oleico (C18:1) quanto para o teor de carotenoides encontrados no trabalho. Trentini et al. (2016) em seus estudos utilizando métodos de extração do óleo, também encontraram altos teores do ácido monoinsaturado oleico e do carotenoide  $\beta$ -caroteno em óleo da polpa de macaúba.

Adicionalmente, também foram destacados em negrito os acessos com maiores teores do ácido palmítico (C16:0), representados pelos BGP 264, BGP 293, BGP 297, BGP 290 e BGP 265, conseqüentemente também avaliados como os de maiores concentrações de ácidos graxos saturados (Tabela 5, Tabela 3 e Figuras suplementares 5 e 6). Se a busca for por fontes de óleos saturados pelos setores alimentícios, estes materiais devem ser priorizados. Assim, tendo em vista os resultados fortalecendo os objetivos de diversidade genética e a busca por óleos com maiores teores de carotenoides, ácido oleico e ácido palmítico recomenda-se o intercruzamento entre os parentais dissimilares destacados.

O agrupamento de Tocher possibilitou a formação de seis grupos para os parâmetros colorimétricos do óleo, com mais de 72% dos acessos reunidos no grupo I (21) com procedência das matrizes nos estados de MG, SP e GO (Tabela 1). O grupo II foi formado pelos acessos BGP 256 e BGP 269 procedentes de MG e SP, respectivamente. O grupo III também composto por dois acessos (BGP 266 e BGP 301) com origens das matrizes em MS e Paraguai. O grupo IV formado pelos acessos BGP 264 (matriz procedente de MG) e BGP 278 (matriz procedente de PE), e o grupo V e VI por acessos individuais agrupados separadamente BGP 285 (MS) e BGP 275 (MG), respectivamente.

A metodologia de Tocher indicou alta dissimilaridade entre os materiais genéticos, separando-os em maior número de grupos com uma leve tendência de similaridade para os acessos com procedências de maior proximidade geográfica. Resultados similares também

foram relatados por Manfio et al. (2012), avaliando progênies de um banco de germoplasma obteve alta dissimilaridade genética entre elas, separando-as pelo método de Tocher em sete grupos relacionados com suas origens geográficas. Conhecer sobre a diversidade genética dos indivíduos mantida mesmo dentro de um banco de germoplasma, é fundamental para a manutenção da espécie ao longo prazo e auxilia nas estratégias de manejo e conservação das populações, assim, entende-se que quanto maior é a diversidade hereditária dos caracteres adaptativos, maior também será a plasticidade fenotípica das plantas (ARAÚJO et al., 2017).

Para os caracteres relacionados a coloração do óleo da polpa foram destacados cinco acessos com maiores valores para o parâmetro de cor  $a^*$  correspondente a intensidade de coloração vermelha nos óleos (Tabela 5, Tabela 3 e Figura suplementar 7). Estes acessos em destaque concordam com os resultados anteriores, ao apresentarem também alto teor de carotenoides; no entanto, para coloração do óleo pertencem aos grupos I (BGP 270, BGP 267, BGP 292) e III (BGP 266 e BGP 301).

A Figura 8 apresenta os dendrogramas gerados pelo método UPGMA, baseado na distância generalizada de Mahalanobis para caracteres de rendimento e composição do óleo. Em relação aos caracteres de rendimento a análise multivariada separou os 29 acessos genéticos de macaúba em quatro grupos separados, de acordo com critério de corte proposto por Mojena (1977) a uma distância de 5.92 que correspondeu a 43.02% do total da dissimilaridade em relação ao valor da distância no último nível de fusão. O grupo I foi formado por oito acessos (BGP 292, BGP 255, BGP 293, BGP 266, BGP 301, BGP 278, BGP 285 e BGP 297) procedentes principalmente das regiões Sudeste e Centro Oeste do Brasil e um de Paraguai (Tabela 1). O grupo II composto por somente o BGP 269 com matriz procedente de SP. O grupo III reuniu a maioria dos acessos estudados (14), todos procedentes da região Sudeste do Brasil e o grupo IV com os demais seis acessos cujas matrizes são de origem geográfica de Minas Gerais. De acordo com a análise de UPGMA para os caracteres de rendimento do óleo, verifica-se que os acessos tenderam a se agruparem de acordo com suas procedências. Tendência de agrupamento de acordo com a origem geográfica de genótipos de macaúba também foram verificados em outros trabalhos de diversidade genética da palmeira (DA CONCEIÇÃO et al., 2015; MANFIO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; REIS et al., 2019; SÁ et al., 2019, 2021).

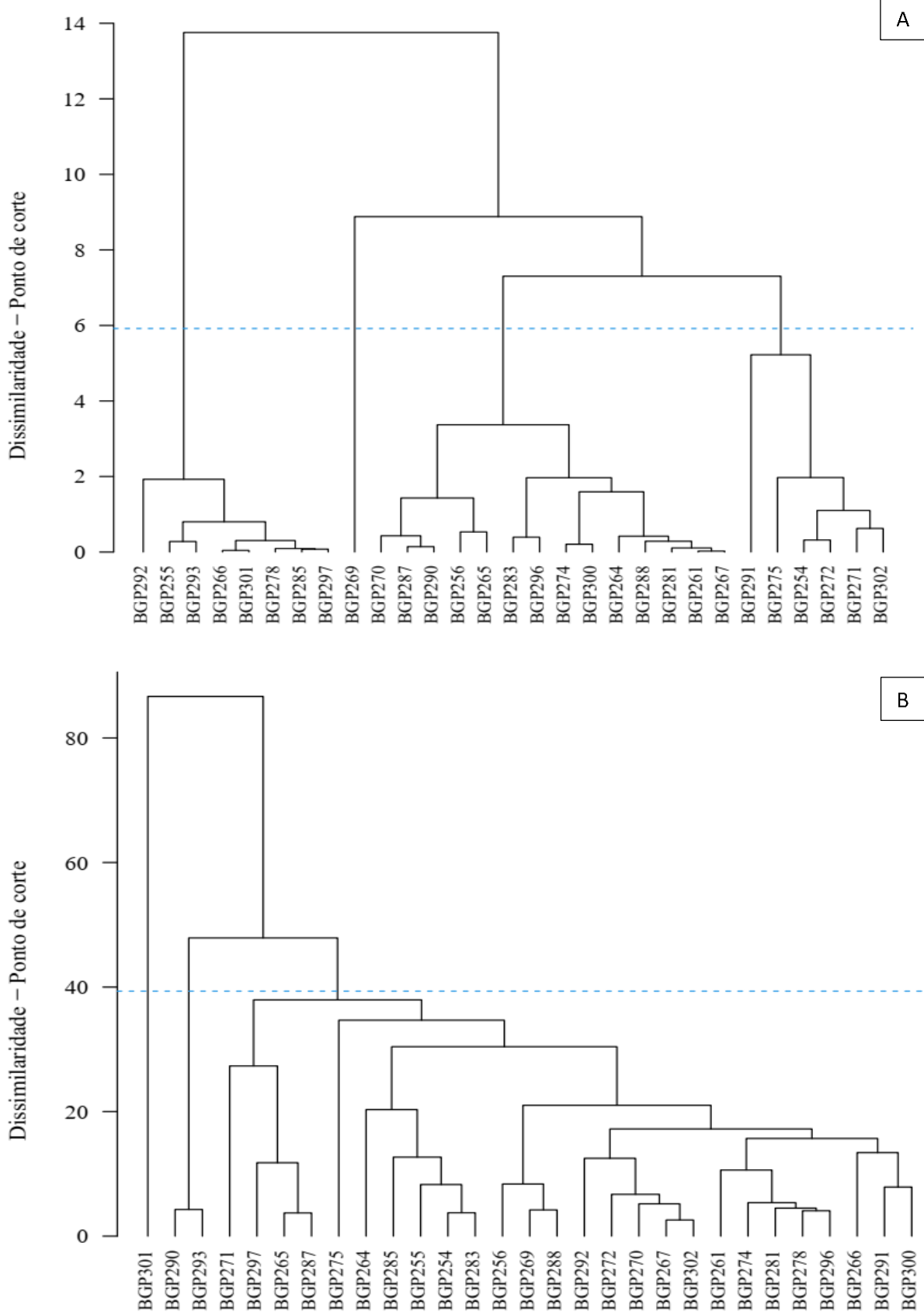
Da Conceição et al. (2015) encontrou resultados similares ao avaliar caracteres de frutos e de teor de óleo em 35 genótipos de macaúba correspondentes a diferentes regiões do Brasil, com genótipos da região Sudeste e Centro Oeste do Brasil reunidos em um mesmo grupo assim como verificado no grupo I do presente estudo. Possivelmente para estes

materiais genéticos há um maior fluxo gênico e compartilhamento de alelos entre as populações geográficas dessas regiões, favorecidos por mecanismos de reprodução da espécie, dispersão de sementes, mobilidade de pólen, entre outros, estes fatores podem estar influenciando na similaridade genética dos acessos.

Em relação a distribuição dos acessos nos diferentes grupos, o agrupamento gerado pelo método UPGMA foi bem próximo da metodologia de Tocher (Figura 8A e Tabela 5). No entanto, para o método de Tocher o acesso BGP 291 foi destacado em um grupo separado (grupo VI), possivelmente por sua importante contribuição para a diversidade referente ao teor de óleo na polpa deste material (Tabela 3 e Figura suplementar 1). Semelhantemente, em ambos os métodos de agrupamentos o acesso BGP 269 foi agrupado de maneira isolada dos demais (Figura 8A e Tabela 5). A alta divergência genética deste material pode ser explicada pela significativa produtividade de óleo também verificada em plantas deste acesso, sendo melhor caracterizada pelo número de frutos do que pelo próprio teor de óleo observado (Tabela 3 e Figura suplementar 2). De acordo com Costa et al. (2018), a produtividade de óleo por planta caracterizada na população estudada foi dependente mais do número total dos frutos do que do conteúdo de óleo na polpa.

Para os caracteres de composição do óleo, o agrupamento UPGMA formou três grupos conforme o corte do dendrograma a distância 39.34 que corresponde a 45.39% do valor da distância no último nível de fusão (Figura 8B). Neste agrupamento, assim como para Tocher, o acesso BGP 301 com matriz procedente de Paraguai foi agrupado isoladamente, evidenciando uma composição do óleo significativamente diferenciada dos demais acessos, principalmente na concentração de carotenoides e de ácido oleico (Tabela 5, Tabela 3 e Figuras suplementares 3 e 4). O grupo II foi constituído por dois acessos com matrizes procedentes de SP (BGP 290 e BGP 293) conforme similaridade constatada.

O último grupo reuniu os 26 acessos restantes das diferentes regiões de procedência, apresentando baixa correspondência na tendência de agrupamento entre a dissimilaridade genética e as origens geográficas de suas procedências. Estes resultados corroboram com os estudos de Sá et al. (2021), que avaliando a diversidade genética de macaúba obteve formação de alguns grupos e subgrupos compostos por genótipos de diversas regiões de origem, não correlacionando com as procedências dos mesmos. Em contrapartida, para o perfil de ácidos graxos, os genótipos de distintas regiões brasileiras foram classificados em sete grupos pela metodologia UPGMA, com tendência de agrupamento de acordo com a origem em comum, sendo um grupo reunindo genótipos de MG e outro com genótipos de GO (DA CONCEIÇÃO et al., 2015).

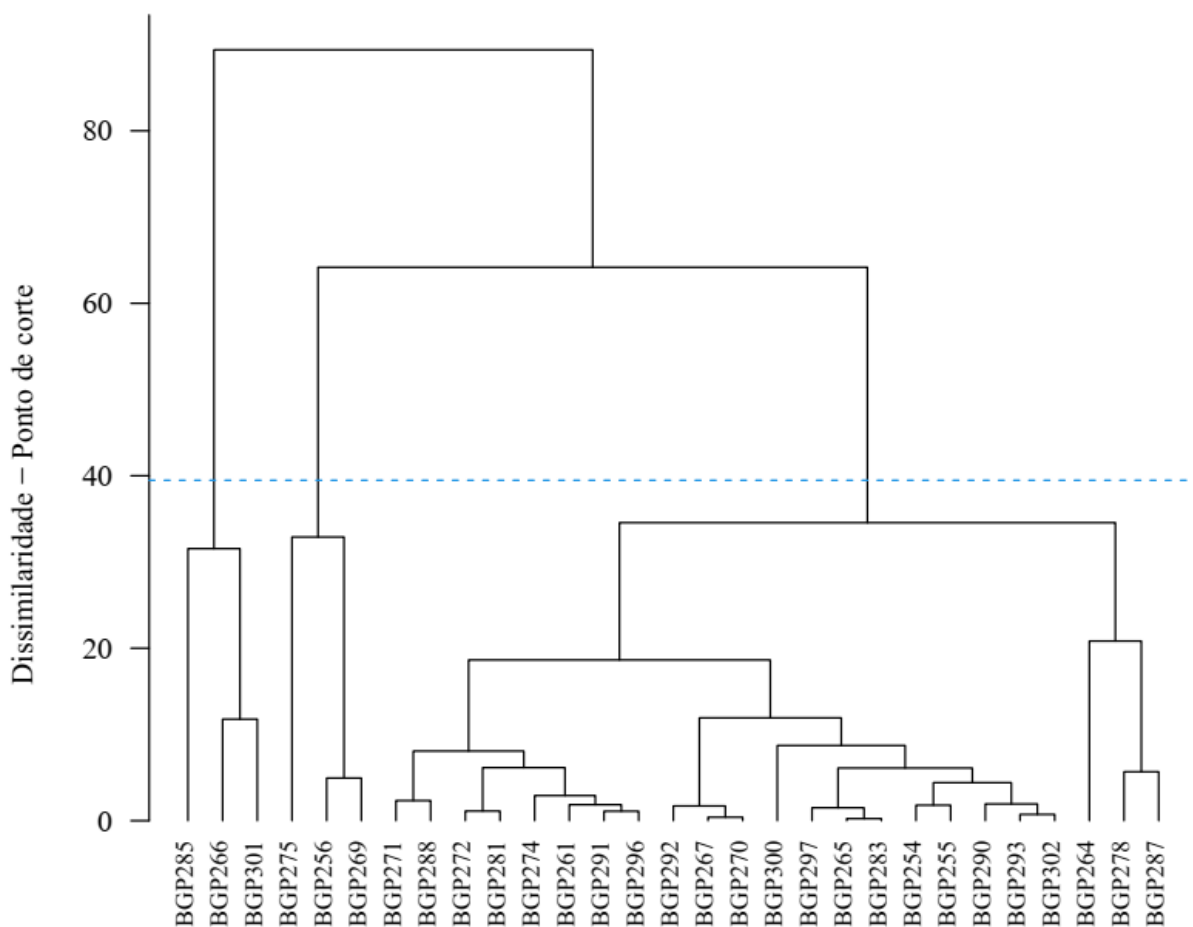


**Figura 8** - Dendrograma formado pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis para caracteres de rendimento de óleo (A) e composição de óleo (B) de 29 acessos de macaúba conservados em banco de germoplasma.

Utilizando 44.16% da dissimilaridade total e corte a distância de 39.48 como critério para definição dos grupos proposto por Mojena (1977), o agrupamento dos acessos referente aos caracteres de coloração do óleo pelo método UPGMA, apresentou formação de três grupos no dendrograma gerado (Figura 9). O primeiro grupo reuniu três acessos, sendo dois deles procedentes da região Centro Oeste do Brasil (BGP 285 e BGP 266) e um procedente de Paraguai (BGP 301). Em comparação, o acesso BGP 285 foi isolado em grupo separado pelo método de Tocher (Tabela 5). Por outro lado, por sua alta similaridade os acessos BGP 266 e BGP 301 foram reunidos em mesmo grupo assim como para UPGMA. Cabe ressaltar que esses mesmos materiais genéticos foram os que apresentaram maior intensidade da coloração vermelha nos óleos e pode estar relacionado com a dissimilaridade significativa desses acessos em relação aos demais (Tabela 5, Tabela 3 e Figura complementar 5).

O grupo II formou-se também de três acessos (BGP 275, BGP 256 e BGP 269) ambos procedentes da região Sudeste do Brasil (MG e SP). De mesma forma, para Tocher esses acessos foram separados, isolando o BGP 275 dos demais. O terceiro e último grupo formado reuniu 79.31% dos acessos avaliados (23 acessos) com origens geográficas das matrizes nas regiões Sudeste (MG e SP), Centro Oeste (GO) e Nordeste do Brasil (PE). O método UPGMA não isolou nenhum dos acessos e os três grupos foram formados por acessos de mais de uma procedência, portanto para este conjunto de caracteres também não houve tendência no agrupamento em relação as procedências de suas matrizes. Oliveira et al. (2012) avaliando a diversidade genética de populações de macaúba baseado em caracteres moleculares também reuniram os acessos estudados em três grupos no dendrograma pela metodologia UPGMA.

Em geral, tanto pelo método UPGMA quanto para Tocher, ao considerar a dissimilaridade entre os três conjuntos de caracteres, houve baixa concordância na alocação dos acessos nos diferentes grupos formados. Por outro lado, analisando os diferentes métodos dentro dos mesmos conjuntos de caracteres, os agrupamentos observados foram próximos e tenderam a alocar os acessos em mesmos grupos, apesar do método de otimização de Tocher ser o mais criterioso quanto a separação dos acessos em maior número de grupos. A técnica de Tocher considera que a formação dos grupos deve ser por definição de critério predefinido de agrupamento (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). Portanto, o método separa os acessos de acordo com o critério de que a distância média entre os grupos deve ser maior que a distância média dentro dos grupos. Isso explica o maior número de grupos formados por esta metodologia, bem como, a tendência de agrupamento dos acessos similares de acordo com as regiões de procedências mais próximas.



**Figura 9** - Dendrograma formado pelo método UPGMA baseado na distância de Mahalanobis para caracteres de coloração do óleo de 29 acessos de macaúba conservados em banco de germoplasma.

Por meio da distância generalizada de Mahalanobis consegue-se avaliar a importância relativa das variáveis para a divergência genética, baseado no critério proposto por Singh (1981). A Tabela 6 apresenta a contribuição relativa dos diferentes caracteres relacionados ao óleo da polpa de macaúba para o estudo da diversidade.

Para os caracteres de rendimento, o teor de óleo na polpa foi o que mais contribuiu para a discriminação dos acessos com a importância de 84.73% na dissimilaridade total. A produção de óleo por planta contribuiu com 15.27% para a diversidade genética. Resultados similares foram reportados por Da Conceição et al. (2015) que identificou dentre as variáveis relacionadas ao rendimento de óleo e aspectos físicos de frutos, o teor de óleo da polpa como sendo o caractere mais importante, contribuindo com 47.57% para a divergência genética dos genótipos de macaúba.

**Tabela 6** - Contribuição relativa dos caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo da polpa para a diversidade genética entre acessos de macaúba, baseada na estatística de Singh (1981), aplicada sobre a distância generalizada de Mahalanobis.

<b>Rendimento do óleo</b>	<b>S.j</b>	<b>Contribuição relativa (%)</b>
Teor de óleo da polpa	2858.84	84.73
Produção de óleo por planta	515.07	15.27
<b>Composição do óleo</b>	<b>S.j</b>	<b>Contribuição relativa (%)</b>
Carotenoides	3019.54	22.16
Ácido Palmítico (C16:0)	2987.83	21.93
Ácido Palmitoleico (C16:1)	3284.96	24.11
Ácido Esteárico (C18:0)	1092.63	8.02
Ácido Oleico (C18:1)	24.47	0.18
Ácido Linoleico (C18:2)	2448.66	17.97
Ácido Araquídico (C20:0)	767.14	5.63
<b>Parâmetros Colorimétricos do óleo</b>	<b>S.j</b>	<b>Contribuição relativa (%)</b>
L*	19822.70	53.58
a*	0.00	0.00
b*	10703.28	28.93
Croma	0.00	0.00
Hue	6470.83	17.49

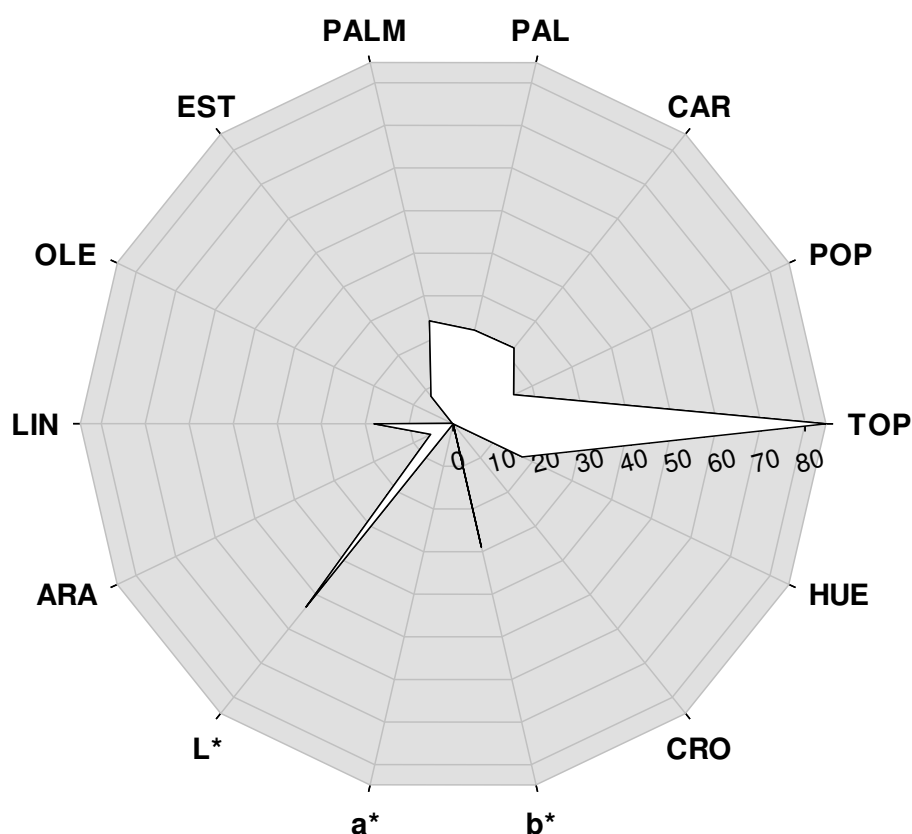
Valores de S.j negativos foram considerados nulos.

Os caracteres de composição do óleo que mais contribuíram para 86.17% da divergência em ordem decrescente foram o ácido palmitoleico (24.11%), carotenoides (22.16%), ácido palmítico (21.93%) e ácido linoleico (17.97%) e, portanto, suficientes para explicar a diversidade entre os 29 acessos estudados (Tabela 6). Os caracteres que contribuíram pouco na discriminação dos acessos foram os ácidos oleico (0.18%), araquídico (5.63%) e esteárico (8.02%). Da Conceição et al. (2015) avaliando a contribuição relativa do perfil de ácidos graxos, obteve maiores contribuições na discriminação dos genótipos pelo ácido oleico com 39.61% para a dissimilaridade total, diferente dos resultados observados no presente estudo. Por outro lado, para o ácido palmítico os percentuais de contribuição relativa foram semelhantes apresentando 20.14% relatado pelo autor.

Para os parâmetros colorimétricos do óleo, o L\* foi o caractere que mais contribuiu para a divergência, com 53.58% da contribuição total (Tabela 6). Em seguida, o segundo caractere mais importante foi o parâmetro de cor b\* que também contribuiu satisfatoriamente com 28.93% e por fim o parâmetro Hue que contribuiu com 17.49% da variação total para a diversidade dos acessos.

Em geral, os resultados apontam que os caracteres TOP, POP, CAR, PAL, PALM, LIN, L\*, b\* e HUE são importantes e eficientes para identificar a variabilidade genética entre

os 29 acessos conservados no banco de germoplasma (Figura 10). Em contrapartida, os caracteres OLE, ARA, EST, a\* e CRO demonstraram serem menos eficientes na diferenciação dos acessos, podendo ser representados pelas demais variáveis dentro do seu conjunto de caracteres.



**Figura 10** - Contribuição relativa ilustrativa dos caracteres de rendimento, composição e coloração do óleo da polpa para a diversidade genética dos acessos de macaúba, baseada na estatística de Singh (1981), aplicada sobre a distância generalizada de Mahalanobis. TOP: teor de óleo da polpa; POP: produção de óleo por planta; CAR: carotenoides; PAL: ácido Palmítico (C16:0); PALM: ácido Palmitoleico (C16:1) EST: ácido Esteárico (C18:0); OLE: ácido Oleico (C18:1); LIN: ácido Linoleico (C18:2); ARA: ácido Araquídico (C20:0); AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; L\*: luminosidade; a\*: presença das cores verde e vermelha; b\*: presença das cores azul e amarelo; CRO: croma (saturação) e HUE: tonalidade.

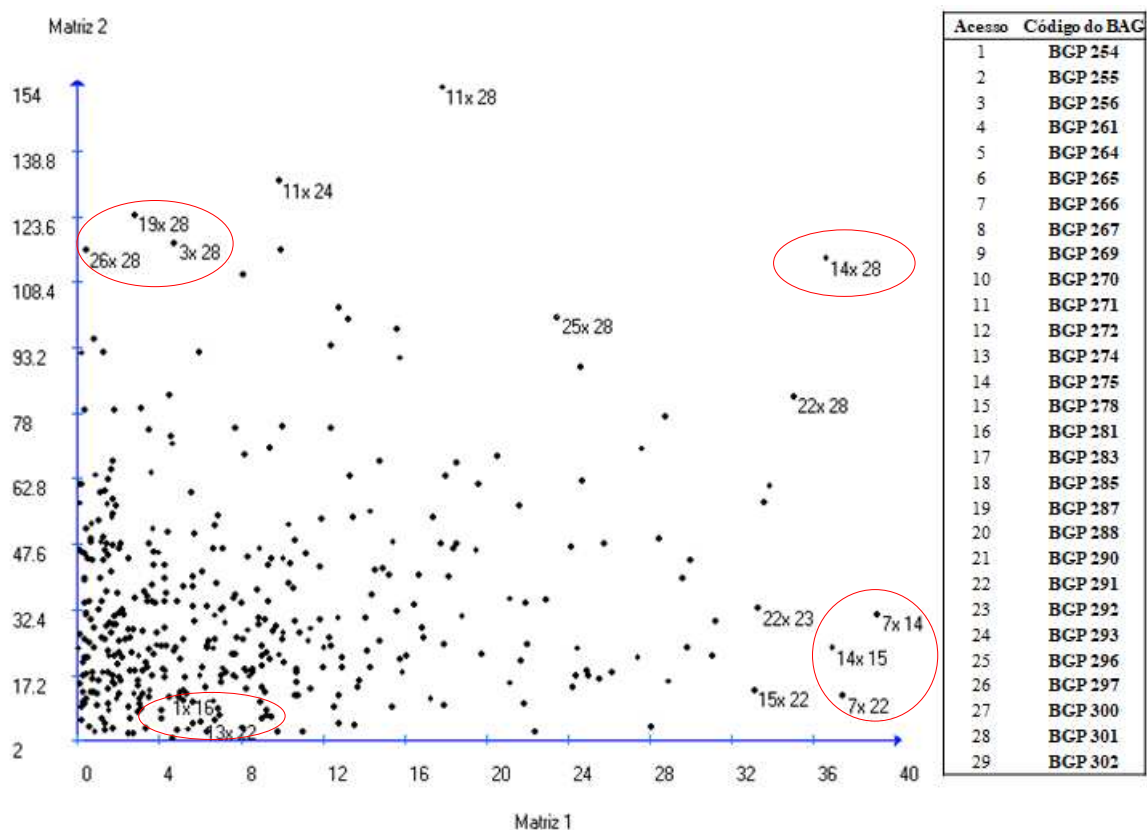
### 3.4. Consistência da diversidade entre matrizes de dissimilaridade

As matrizes de dissimilaridade baseada na distância de Mahalanobis, referente aos três conjuntos de caracteres do óleo, foram submetidas ao teste de Mantel a fim de verificar a concordância entre as medidas de distância por meio da correlação entre as estimativas obtidas. A Figura 11 apresenta o gráfico de dispersão da correlação entre a matriz de distância

dos caracteres de rendimento e a matriz de distância dos caracteres de composição do óleo. A correlação entre as estimativas obtidas foi de 0.11, significativa a 5% pelo teste de Mantel apresentando baixa correlação entre as matrizes de distância dos caracteres estudados e confirma os resultados obtidos anteriormente, em que houve baixa concordância nas divergências genéticas entre os agrupamentos dos diferentes conjuntos de caracteres do óleo (Tabela 5 e Figura 8).

Na Figura 11 é possível observar pontos que representam pares de acessos medidos pelas matrizes de distância de Mahalanobis correspondente aos caracteres de rendimento (matriz 1) e aos caracteres de composição do óleo (matriz 2). Apesar da baixa correlação obtida, foi possível identificar no gráfico alguns pares de acessos de mesmo comportamento em relação a diversidade para os dois conjuntos de caracteres. Baixos valores de distâncias para as duas matrizes de dissimilaridade foram verificados em pares de acessos procedentes de MG (BGP 254 x BGP 281 e BGP 274 x BGP 291) indicando similaridade entre eles para os caracteres de rendimento e composição do óleo. Enquanto que os maiores valores de distância foram verificados no par de acessos BGP 275 x BGP 301 indicados como divergentes entre si para ambos os conjuntos de caracteres.

A baixa concordância da diversidade genética para os dois conjuntos de caracteres do óleo, indicou que pares de acessos de diferentes procedências (BGP 287 x BGP 301, BGP 297 x BGP 301 e BGP 256 x BGP 301) foram similares para os caracteres de rendimento e totalmente divergentes entre si nos caracteres de composição do óleo conforme os altos valores de distância na matriz de dissimilaridade 2. Outros pares de acessos BGP 266 x BGP 291, BGP 275 x BGP 278 e BGP 266 x BGP 275 obtiveram altas dissimilaridades na matriz 1 e baixas na matriz 2, indicando serem divergentes para caracteres de rendimento de óleo e similares entre si para caracteres de composição. Estes resultados demonstram que os pares de acessos em estudo possuem comportamentos específicos ao expressarem seus diferentes conjuntos de caracteres do óleo e que aqueles considerados com carotenoides e perfil de ácidos graxos semelhantes podem ser os mesmos que apresentam produtividades de óleo diferentes, por exemplo. Caracteres produtivos como teor de óleo, tamanho e peso de frutos, tendem a ser mais influenciados por fatores ambientais como descritos por Coelho et al. (2019), Resende et al. (2020) e Alfaro-Solís et al. (2020), e por consequência podem estar contribuindo na magnitude da correlação entre os caracteres de rendimento e composição do óleo, apresentando baixa consistência da diversidade entre os acessos estudados.

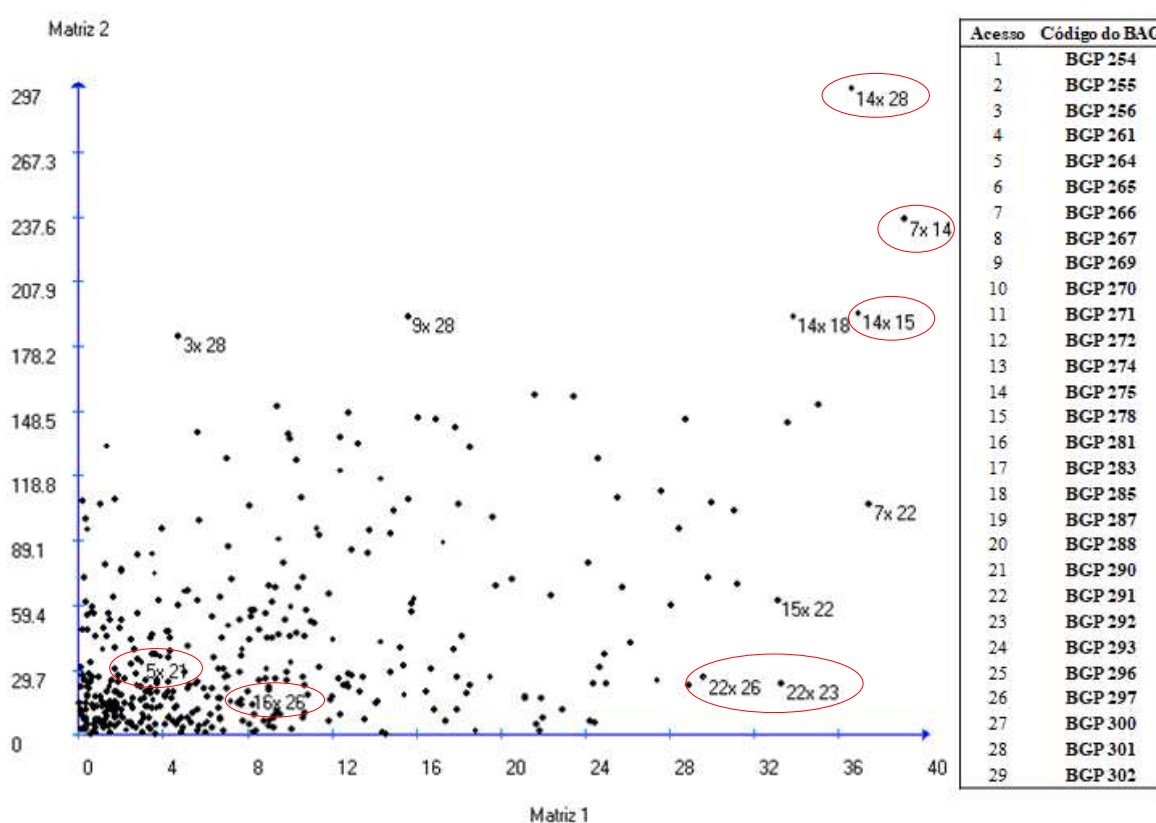


**Figura 11-** Dispersão Gráfica da correlação entre a matriz de distância dos caracteres de rendimento (matriz 1) e de composição do óleo (matriz 2) a partir de 5000 simulações e nível de 5% de significância pelo teste de Mantel.

Em complemento, também são apresentados os gráficos de dispersão da correlação entre a matriz de distância dos caracteres de rendimento e a matriz de distância dos caracteres de coloração (Figura 12) e da correlação entre a matriz dos caracteres de composição e a matriz dos caracteres de coloração do óleo (Figura 13). Para ambos os resultados houve razoável concordância entre as medidas de distância com correlação de 0.47 para matrizes de dissimilaridade dos caracteres de rendimento e coloração e 0.48 para matrizes dos caracteres de composição e coloração do óleo, significativa a 1% de probabilidade pelo teste de Mantel. Estes resultados indicam concordâncias existentes entre pares de acessos considerados similares (localizados na região inferior esquerda do gráfico - 3º quadrante) e/ou divergentes entre si (localizados na região superior direita do gráfico - 1º quadrante) para ambos os grupos de caracteres avaliados.

Algumas destas concordâncias foram observadas entre os pares de acessos BGP 275 x BGP 301, BGP 266 x BGP 275 e BGP 275 x BGP 278 considerados divergentes entre si tanto para a matriz 1 (caracteres de rendimento do óleo) quanto para a matriz 2 (caracteres de coloração do óleo), bem como, para os pares de acessos BGP 264 x BGP 290 e BGP 281 x

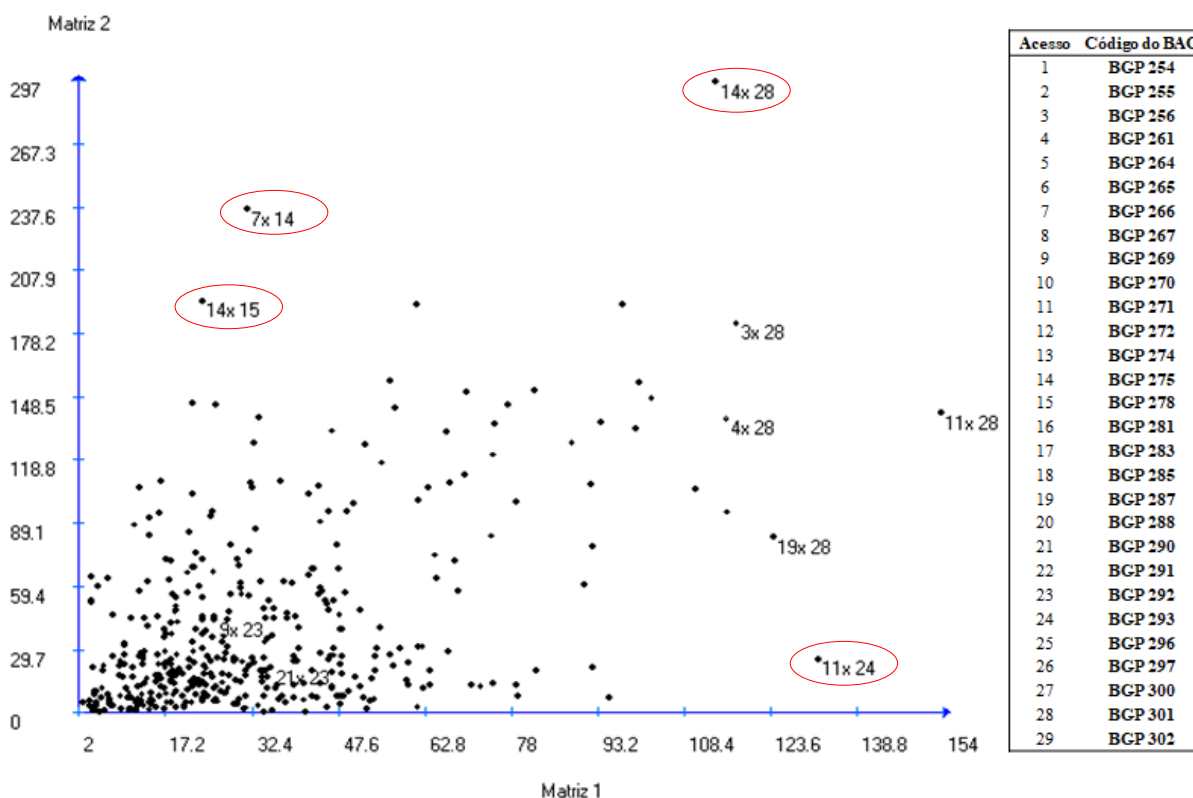
BGP 297 considerados similares entre si para ambos os conjuntos de caracteres (Figura 12). Esses resultados concordantes entre as matrizes de dissimilaridade retratam o comportamento consistente da diversidade entre os acessos, ou seja, os mesmos pares de acessos de igual rendimento também foram os mesmos que apresentaram semelhanças nos parâmetros de cores, por exemplo. Entretanto, discordâncias também foram observadas entre pares como o BGP 291 x BGP 297 e BGP 291 x BGP 292 apresentando-se como divergentes na matriz dos caracteres de rendimento, mesmo sendo acessos procedentes de matrizes de MG e como similares na matriz dos caracteres de coloração do óleo.



**Figura 12** - Dispersão Gráfica da correlação entre a matriz de distância dos caracteres de rendimento (matriz 1) e de coloração do óleo (matriz 2) a partir de 5000 simulações e nível de 1% de significância pelo teste de Mantel.

Em relação as matrizes de distâncias dos caracteres de composição e coloração do óleo (Figura 13), observa-se no gráfico de dispersão os pares de acessos BGP 266 x BGP 275 e BGP 275 x BGP 278 como similares entre si para a matriz 1 (composição de óleo) mesmo sendo materiais procedentes de diferentes origens geográficas (MS x MG e MG x PE) e divergentes entre si para a matriz 2 (coloração do óleo). Enquanto que o par de acessos BGP 271 x BGP 293 foram similares na matriz dos caracteres de coloração do óleo e divergentes entre si na matriz de composição.

O par de acessos BGP 275 x BGP 301 são considerados divergentes entre si para ambas matrizes de distâncias relacionadas aos conjuntos de caracteres avaliados e ressalta a variabilidade genética encontrada nesses materiais importantes para o programa de melhoramento da macaúba.



**Figura 13** - Dispersão Gráfica da correlação entre a matriz de distância dos caracteres de composição (matriz 1) e de coloração do óleo (matriz 2) a partir de 5000 simulações e nível de 1% de significância pelo teste de Mantel.

Apesar das correlações entre as matrizes de distâncias dos caracteres de óleo serem de baixa e média magnitude, é necessário ressaltar que em ambos os gráficos de dispersão (Figuras 11, 12 e 13) houveram pares de acessos (BGP 266 x BGP 275 e BGP 275 x BGP 278) similares entre si para a matriz de distância de composição do óleo e divergentes tanto para a matriz de rendimento quanto para a matriz de coloração do óleo. Adicionalmente, foi possível identificar que o par de acessos BGP 275 x BGP 301 surgem como materiais genéticos totalmente divergentes entre si para todos os conjuntos de caracteres avaliados (rendimento, composição e coloração do óleo da polpa), além de serem também acessos importantes para o programa de melhoramento genético da macaúba, principalmente por apresentarem excelentes produtividades de óleos (BGP 275) e alto teor de ácido oleico e de carotenoides (BGP 301).

#### 4. CONCLUSÃO

Houve variabilidade genética entre os 29 acessos pertencentes ao BAG-Macaúba, e excelente desempenho foi verificado nos caracteres oleíferos da polpa, demonstrando grande potencial de exploração econômica nas diversas aplicações industriais.

Acessos procedentes de matrizes dos estados de SP e principalmente de MG se destacaram como os de maior potencial no rendimento (BGP 275, BGP 269, BGP 291, BGP 272, BGP 254 e o BGP 302) e na composição de ácidos graxos saturados (BGP 264, BGP 297, BGP 293, BGP 290 e BGP 265) e destacou ainda os acessos BGP 266 e BGP 301 procedentes de MS e de Paraguai como importantes na composição de ácido oleico e carotenoides.

Os caracteres de composição do óleo apresentaram altas correlações negativas entre si, enquanto que os de coloração apresentaram altas correlações positivas entre si e uma forte correlação negativa foi verificada em  $a^*$  com HUE e HUE com CAR.

Os agrupamentos formados pelos métodos de Tocher e UPGMA foram eficientes ao avaliar a diversidade genética entre os acessos procedentes das diferentes regiões. Para o método de Tocher os 29 acessos foram agrupados em cinco grupos para caracteres de rendimento do óleo, quatro grupos para caracteres de composição e seis grupos para coloração do óleo, enquanto que por UPGMA, reuniram-se quatro grupos para rendimento e três grupos para os caracteres de composição e coloração do óleo.

Os caracteres que mais contribuíram para a diferenciação dos acessos estudados foram TOP, POP, CAR, PAL, PALM, LIN,  $L^*$ ,  $b^*$  e HUE.

As correlações das matrizes de dissimilaridade indicaram razoáveis concordâncias entre as matrizes dos diferentes grupos de caracteres e apontaram os acessos BGP 275 e BGP 301 como os mais divergentes entre si para todos os conjuntos de caracteres avaliados, além de se destacarem nos caracteres de interesse para óleos de polpa de macaúba e, portanto, são considerados importantes por atenderem objetivos do melhoramento.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARO-SOLÍS, J. D. et al. *Acrocomia aculeata* fruits from three regions in Costa Rica: an assessment of biometric parameters, oil content and oil fatty acid composition to evaluate industrial potential. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 5, p. 1913–1927, 2020.

AMARAL, F. P. DO et al. Extração e caracterização qualitativa do óleo da polpa e amêndoas de frutos de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart] coletada na região de Botucatu, SP. **Energia Na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 12–20, 2011.

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. DE A. C. E S.; FARO, Z. P. DE. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 2, p. 233–243, 2006.

AMPESE, L. C. et al. Macaúba's world scenario: a bibliometric analysis. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021.

ANTONIASSI, R. et al. Impact of genotype on fatty acid profile, oil content and nutritional value of the sweet fruits of *acrocomia aculeata*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 6, p. e-796, 2020.

ANVISA. **Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Óleos e Gorduras Vegetais. RESOLUÇÃO Nº 482 de 23 de setembro de 1999. Ministério da Saúde**, 1999.

ARAÚJO, M. R. G. et al. Fine-scale spatial genetic structure and gene flow in *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): Analysis in an overlapping generation. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 71, p. 147–154, 2017.

BARRETO, L. C. et al. Dynamic of reserve compounds of mesocarp and seeds of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) submitted to different storage conditions. **Trees**, v. 30, n. 6, p. 1945–1952, 2016.

BISPO, R. B. et al. Genetic divergence among *Mauritia flexuosa* L. f. genotypes based on seed and fruit morphometry. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 585–590, 2020.

BOSKOU, D.; BLEKAS, G.; TSIMIDOU, M. Olive Oil Composition. In: **Olive Oil**. Thessalonik: AOCS Press, 2006. p. 41–71.

CABRERA, O. G. et al. Macauba (*Acrocomia aculeata*): Biology, Oil Processing, and Technological Potential. In: **Oilseed Crops - Biology, Production and Processing**. London: intechopen, 2022. p. 1–23.

CARDOSO, A. et al. Opportunities and challenges for sustainable production of *A. aculeata* through agroforestry systems. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 573–580, 2017.

CÉSAR, A. D. S. et al. The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1213–1220, 2015.

CICONINI, G. et al. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 208–214, 2013.

COELHO, R. M. et al. Non-biotic factors determining plasticity of the prospective oil-rich macauba palm (*Acrocomia aculeata*). **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 3, p. 771–782, 2019.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jervivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2139–2142, 2011.

COLOMBO, C. A. et al. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL**, v. 25, n. 1, p. 9, 2018.

CORSINI, M. D. S. et al. Perfil de ácidos graxos e avaliação da alteração em óleos de fritura. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 956–961, 2008.

COSER, S. M. et al. Breeding of *Acrocomia aculeata* using genetic diversity parameters and correlations to select accessions based on vegetative, phenological, and reproductive characteristics. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 4, 2016.

COSTA, A. G. et al. Measurement of volume of macaw palm fruit using traditional and the digital Moiré techniques. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 152–157, 2016.

COSTA, A. M. et al. Genetic parameters and selection of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) accessions: an alternative crop for biofuels. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.

18, n. 3, p. 259–266, 2018.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547–552, 2016.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. 2. ed. Viçosa: Suprema, 2020.

DA CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. et al. Genetic diversity of macauba from natural populations of Brazil. **BMC Research Notes**, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2015.

DE OLIVEIRA, I. P. et al. Optical analysis of the oils obtained from *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd: Mapping absorption-emission profiles in an induced oxidation process. **Photonics**, v. 4, n. 3, 2017.

DEL RÍO, J. C. et al. Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. **Industrial Crops and Products**, v. 84, p. 294–304, 2016.

DÍAZ, B. G. et al. Genome-wide SNP analysis to assess the genetic population structure and diversity of *Acrocomia* species. **PLoS ONE**, v. 16, n. 7, p. e0241025, 2021.

EDEM, D. O. Palm oil: Biochemical, physiological, nutritional, hematological and toxicological aspects: A review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 57, n. 3, p. 319–341, 2002.

EVARISTO, A. B. et al. Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 63–73, 2016.

EVARISTO, A. B. et al. Caracterização físico-química de frutos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. **Revista Agrotecnologia**, v. 8, n. 2, p. 81–92, 2017.

FAVARO, S. P. et al. Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil quality is negatively affected by drying fruits at 60 °C. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 60, 2017.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. **Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura**. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1084379>>. Acesso em: 4 ago. 2022.

FONSECA, J. V. DOS S. et al. Low-fat and rich-fibers macauba (*Acrocomia spp.*) sauces: Physical and oxidative stability, nutritional quality and sensory characteristics. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101272, 2021.

FRANÇA, A. T. R. et al. Avaliação do perfil Do óleo da polpa de macaúba perante ensaios termoxidativos. **E-xacta**, v. 12, n. 1, p. 55–64, 2019.

GAGLIARDI, A. C. M.; MANCINI FILHO, J.; SANTOS, R. D. Perfil nutricional de alimentos com alegação de zero gordura trans. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 55, n. 1, p. 50–53, 2009.

GRUPIONI, C. M. DE F. et al. Macaw palm supply chain: Evaluation of a semi-mechanized fruit harvesting system. **Industrial Crops and Products**, v. 151, n. 112444, 2020.

HIANE, P. A. et al. Bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd, pulp and kernel oils: characterization and fatty acid composition. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 3, p. 256–259, 2005.

HISSANAGA, V. M.; PROENÇA, R. P. D. C.; BLOCK, J. M. Ácidos graxos trans em produtos alimentícios brasileiros: Uma revisão sobre aspectos relacionados à saúde e à rotulagem nutricional. **Revista de Nutricao**, v. 25, n. 4, p. 517–530, 2012.

IAL (INSTITUTO ADOLF LUTZ). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos - 4ª Edição, 1ª Edição Digital**. Disponível em: <[https://www.academia.edu/15369554/Livro\\_-\\_Metodos\\_fisico-quimicos\\_para\\_analise\\_de\\_alimentos\\_IV](https://www.academia.edu/15369554/Livro_-_Metodos_fisico-quimicos_para_analise_de_alimentos_IV)>. Acesso em: 11 jun. 2020.

LANES, É. C. M. et al. Molecular Characterization and Population Structure of the Macaw Palm , *Acrocomia aculeata* ( *Arecaceae* ), Ex Situ Germplasm Collection Using Microsatellites Markers. **Journal of Heredity**, v. 106, n. 1, p. 102–112, 2015.

LESCANO, C. H. et al. Nutrients content, characterization and oil extraction from *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. fruits. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 3, p. 113–119, 2015.

LIEB, V. M. et al. Fatty acids and triacylglycerols in the mesocarp and kernel oils of maturing Costa Rican *Acrocomia aculeata* fruits. **NFS Journal**, v. 14–15, p. 6–13, 2019.

- LIMA, N. E. DE et al. A review of the palm genus *Acrocomia*: Neotropical green gold. **Organisms Diversity and Evolution**, v. 18, n. 2, p. 151–161, 2018.
- LUSTRI, E. A. et al. Estimates of genetic parameters for juvenile traits in macaw palm. **Bragantia**, v. 80, n. e2821, 2021.
- MACHADO, W. et al. Evaluation of two fruit ecotypes (total and sclerocarpa) of macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Industrial Crops and Products**, v. 63, p. 287–293, 2015.
- MANFIO, C. E. et al. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 63–68, 2012.
- MARTIN, C. A. et al. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: Importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutricao**, v. 19, n. 6, p. 761–770, 2006.
- MENGISTU, F. G.; MOTOIKE, S. Y.; CRUZ, C. D. Molecular characterization and genetic diversity of the macaw palm ex situ germplasm collection revealed by microsatellite markers. **Diversity**, v. 8, n. 4, p. 20, 2016.
- MILLIGAN, G. W.; COOPER, M. C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. **Psychometrika**, v. 50, n. 2, p. 159–179, 1985.
- MIR, M.; GHOREISHI, S. M. Response surface optimization of biodiesel production via catalytic transesterification of fatty acids. **Chemical Engineering and Technology**, v. 38, n. 5, p. 835–834, 2015.
- MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359–363, 1977.
- MOTOIKE, S.; KUKI, K. N. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, p. 632–635, 2009.
- MOTOIKE, S. Y. et al. **A cultura da macaúba implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa: Editora UFV, 2013.
- NAVARRO-DÍAZ, H. J. et al. Macauba oil as an alternative feedstock for biodiesel: Characterization and ester conversion by the supercritical method. **Journal of Supercritical**

**Fluids**, v. 93, p. 130–137, 2014.

NUNES, A. A. et al. Good practices of harvest and processing provide high quality Macauba pulp oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 117, n. 12, p. 2036–2043, 2015.

OLIVEIRA, D. A. et al. Genetic diversity in populations of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) in the northern region of Minas Gerais, Brazil. **Genetics and molecular research**, v. 11, n. 1, p. 531–538, 2012.

OLIVEIRA, U. F. et al. Predicting oil content in ripe Macaw fruits (*Acrocomia aculeata*) from unripe ones by near infrared spectroscopy and PLS regression. **Food Chemistry**, v. 351, p. 129314, 2021.

ONU, O. DAS N. U. **World Population Prospects 2019**. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

PASA, T. L. B. et al. Assessment of commercial acidic ion-exchange resin for ethyl esters synthesis from *Acrocomia aculeata* (Macaúba) crude oil. **Renewable Energy**, v. 146, p. 469–476, 2020.

PASTOR, R.; BOUZAS, C.; TUR, J. A. Beneficial effects of dietary supplementation with olive oil, oleic acid, or hydroxytyrosol in metabolic syndrome: Systematic review and meta-analysis. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 172, p. 372–385, 2021.

PATSILINAKOS, A. et al. Carotenoid content of Goji berries: CIELAB, HPLC-DAD analyses and quantitative correlation. **Food chemistry**, v. 268, p. 49-56, 2018.

PIRES, T. P. et al. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200–210, 1 jan. 2013.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 755–760, 2006.

RAMOS, M. I. L. et al. Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 90–94, 2008.

REIS, E. F. dos et al. Genetic diversity of macaúba fruits from 35 municipalities of the state of Goiás, Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 4, p. 277–282, 2017.

REIS, E. F. dos et al. Characteristics of 137 macaw palm (*Acrocomia aculeata*) fruit accessions from Goiás, Brazil. **Comunicata Scientiae**, v. 10, n. 1, p. 117–124, 2019.

RESENDE, R. T. et al. Data-based agroecological zoning of *Acrocomia aculeata*: GIS modeling and ecophysiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 112749, 2020.

RIGOLON, T. C. B. et al. Prediction of total phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity of blackberry (*Rubus* sp.), blueberry (*Vaccinium* sp.) and jaborcaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) skin using colorimetric parameters. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 620–625, 2020.

RODRIGUES, M. L. et al. Cinética da degradação de carotenoides e da alteração de cor do azeite de pequi submetido ao aquecimento em temperatura de fritura. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 8, p. 1509–1515, 2013.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Avanços na pesquisa de carotenóides em alimentos: contribuições de um laboratório brasileiro. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 63, n. 2, p. 129–138, 2004.

ROSADO, R. D. S. et al. Genetic parameters and simultaneous selection for adaptability and stability of macaw palm. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 291–296, 2019.

SÁ, A. C. DOS S. et al. Spatio-temporal characterization of the fruit metabolism in contrasting accessions of Macauba (*Acrocomia aculeata*). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 171, n. October 2021, p. 14–25, 2022.

SÁ, S. F. DE et al. Caracterização Físico-Oleífera De Frutos De Genótipos De Macaúba Conservados Em Banco De Germoplasma. **Agrotrópica (Itabuna)**, v. 31, n. 1, p. 37–44, 2019.

SÁ, S. F. DE et al. Genetic diversity via REML-BLUP of ex situ conserved macauba

[*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] ecotypes. **Genetic Resources and Crop Evolution**, p. 1–12, 2021.

SANTIN, C. M. T. et al. Comparison of macauba and soybean oils as substrates for the enzymatic biodiesel production in ultrasound-assisted system. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 35, p. 525–528, 2017.

SHIMAKURA, S. E.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Estatística**. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~paulojus/ce003/ce003/ce003.html>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

SILVA, L. C. C. et al. Genetic Diversity and Structure of Macaw Palm: Implications for Genetic Variability Sampling. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, 2017.

SILVA, M. S. **CSS3 Módulo para cores**. Disponível em: <<https://www.maujor.com/tutorial/css3-modulo-para-cores.php>>. Acesso em: 4 ago. 2022.

SILVA, R. B. et al. A comparative study of nutritional composition and potential use of some underutilized tropical fruits of Arecaceae. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 3, p. 1701–1709, 2015.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237–245, 1981.

SOUZA, N. E. DE; MATSUSHITA, M.; VISENTAINER, J. V. ÁCIDOS GRAXOS: Estrutura, Classificação, Nutrição e Saúde. **Arq. Apadec**, v. 2, n. 2, p. 102–107, 1998.

TILAHUN, W. W.; GROSSI, J. A. S.; FAVARO, S. P. Combination of storage followed by drying assures higher yield and quality of macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100090, 2022.

TRENTINI, C. P. et al. Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. **Ciência Rural**, v. 46, n. 4, p. 725–731, 2016.

TRENTINI, C. P. et al. Oil extraction from macauba pulp using compressed propane. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 126, p. 72–78, 2017.

UNIRIO. **Óleos e Gorduras**. Disponível em: <<http://www.unirio.br/prae/nutricao-prae->

1/quarentena/carregamento-boletins-setan/boletim-no-11-2020>. Acesso em: 1 ago. 2022.

USDA. **Oilseeds : World Markets and Trade**. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/>>. Acesso em: 16 maio. 2022.

VARGAS-CARPINTERO, R. et al. *Acrocomia* spp.: neglected crop, ballyhooed multipurpose palm or fit for the bioeconomy? A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 6, p. 75, 2021.

VIANNA, S. A. et al. Morphological characterization and productivity estimates of *Acrocomia totai* mart. (arecaceae) – A sustainable alternative of extractivism and cultivation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 1, p. (e-730), 2021.

WIN, D. T. Oleic Acid-The Anti-Breast Cancer Component in Olive Oil. **Au J.T**, v. 9, n. 2, p. 75–78, 2005.

XAVIER, E. V. A.; COSTA, A. A. Aplicações da Macaúba: um estudo prospectivo. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 4, p. 1147–1163, 2020.

YAMAGATA, K. et al. Oleic acid and oleylethanolamide decrease interferon- $\gamma$ -induced expression of PD-L1 and induce apoptosis in human lung carcinoma cells. **European Journal of Pharmacology**, v. 903, p. 174116, 2021.

## CONCLUSÃO GERAL E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho proporcionou uma documentação mais completa do BAG-Macaúba através da caracterização dos acessos produtivos pertencentes as duas áreas recentes de produção (Gleba V e VI), oriundos de diferentes regiões. Estas informações demonstraram serem importantes para os estudos do pré-melhoramento da espécie, que busca conservar a diversidade dos recursos genéticos, identificar o potencial dos materiais e prever populações resultantes de combinações heteróticas desejáveis para estabelecimento de um programa eficiente de melhoramento da macaúba.

O estudo possibilitou identificar acessos com excelentes características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos e indicou existência de grande variabilidade genética entre eles, mesmo pertencentes a matrizes com procedências de mesmas regiões. Também foi possível identificar a diversidade entre os acessos potenciais para os caracteres de rendimento, composição e coloração dos óleos da polpa, contribuindo no melhoramento desta espécie para uma ampla exploração dos materiais genéticos, atendendo as demandas das diversas aplicabilidades industriais do óleo.

Os acessos procedentes das regiões de Luz e Santa Luzia – MG apresentaram excelentes desempenhos em relação aos descritores vegetativos, produtivos e biométricos dos frutos, com grande potencial oleífero em seus primeiros anos de produção. Altas herdabilidades também revelaram forte controle genético, permitindo a seleção de materiais superiores possibilitado pelo estudo de diversidade dos agrupamentos formados. Possíveis cruzamentos promissores são recomendados no capítulo 2 deste trabalho. Os agrupamentos pelo método de Tocher, UPGMA e Projeção 3D por variáveis canônicas utilizados no estudo, foram eficientes ao caracterizar a diversidade e demonstraram ampla dissimilaridade genética entre os acessos de macaúba.

Entre os materiais procedentes de matrizes das diferentes regiões brasileiras com base em caracteres biométricos de importância econômica, se destacaram acessos do estado de MG com possibilidade de uma seleção bem-sucedida entre os acessos promissores, conforme apontado pelas estimativas de parâmetros genéticos e análises de agrupamento. Diferentes grupos foram formados por meio das metodologias aplicadas e conforme a diversidade e a identificação dos acessos com desempenho superior, também foi possível orientar futuras hibridações potenciais para o melhoramento genético da espécie. Os acessos procedentes de matrizes de São Paulo e, principalmente, de Minas Gerais se destacaram como os de maior potencial para produtividade de óleo e maiores teores de ácidos graxos saturados, enquanto

que para caracteres relacionados ao conteúdo de carotenoides e maiores teores de ácido oleico se destacaram os procedentes de MS e Paraguai, como indicados no capítulo 4 deste trabalho.

Pelos estudos da diversidade genética nas coleções ex-situ do BAG-Macaúba/UFV com ênfase nos acessos superiores e divergentes, foi possível inferir sobre a escolha dos melhores genitores a serem utilizados em cruzamentos futuros, para formação de uma população de ampla variabilidade a partir da qual se concentrarão os esforços e recursos na busca de material genético superior e assim seguir com mais esta etapa importante do programa de pré-melhoramento da macaúba. Para os próximos passos, recomenda-se realização dos cruzamentos dirigidos indicados pelos resultados gerados a partir deste trabalho, entre aqueles acessos identificados como bons e divergentes de acordo com os objetivos do melhorista. Dos frutos originarão mudas para formação de uma nova população de melhoramento que deverão ser instaladas em pomares tecnicamente conduzidos com maior número de progênies representativas geradas por parentais agora conhecidos. A busca pelos melhores indivíduos após sucessivos ciclos do método de seleção recorrente se sucederá com posteriores avaliações dos ciclos de produções e da seleção melhorada das plantas que apresentarem excelentes ganhos genéticos. Os novos experimentos darão continuidade ao programa de melhoramento genético da macaúba com objetivos finais de recomendação de genótipos superiores para plantios comerciais.

## APÊNDICES

## MATERIAL SUPLEMENTAR – CAPÍTULO 1

**Tabela suplementar 1-** Valor médio das variáveis altura de planta (AP), diâmetro de estipe (DE), projeção da copa (PC), número de espadas totais (NET), altura da primeira espata (APE), número de folhas totais (NFT), número de folhas fotossintetizantes (NFF), precocidade (PREC) e início da fase produtiva (IFP) de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*.

Acessos	Blocos	Características Vegetativas								
		AP	DE	PC	NET	APE	NFT	NFF	PREC	IFP
<b>BGP 150</b>	1	7.50	48.75	6.00	7.00	1.30	68.00	29.00	1.00	91.00
<b>BGP 150</b>	2	8.95	44.50	5.88	9.00	2.50	83.00	28.00	2.00	76.00
<b>BGP 151</b>	1	8.64	39.87	5.82	7.18	2.19	65.38	24.58	0.76	93.06
<b>BGP 151</b>	2	8.85	40.50	6.01	7.50	1.98	66.00	23.00	1.00	90.00
<b>BGP 152</b>	1	8.42	44.50	5.56	7.68	2.01	71.88	23.08	1.76	79.06
<b>BGP 152</b>	2	8.41	45.13	5.75	8.00	1.80	72.50	21.50	2.00	76.00
<b>BGP 154</b>	1	8.75	37.50	6.13	9.00	1.75	76.00	34.00	2.00	76.00
<b>BGP 154</b>	2	7.91	37.88	6.23	7.50	1.95	66.00	23.00	1.50	83.00
<b>BGP 156</b>	1	8.87	39.38	5.94	7.00	1.83	67.00	22.50	2.00	76.00
<b>BGP 156</b>	2	7.25	41.50	5.50	8.00	1.20	60.50	21.50	2.00	76.00
<b>BGP 157</b>	1	7.75	45.50	6.63	6.00	1.50	56.00	19.00	2.00	76.00
<b>BGP 157</b>	2	9.05	49.00	7.13	8.00	2.20	67.00	23.00	1.00	90.00
<b>BGP 158</b>	1	9.51	40.13	5.94	8.50	2.73	67.00	27.00	2.00	76.00
<b>BGP 158</b>	2	9.50	40.75	6.13	8.82	2.52	67.62	25.42	2.24	72.94
<b>BGP 159</b>	1	9.68	34.75	5.26	6.50	2.79	72.50	23.50	2.00	76.00
<b>BGP 159</b>	2	8.15	37.25	5.28	7.00	1.70	56.00	21.00	2.00	76.00
<b>BGP 160</b>	1	9.31	34.25	5.62	5.68	2.16	72.38	21.58	2.26	73.06
<b>BGP 160</b>	2	9.30	34.88	5.81	6.00	1.95	73.00	20.00	2.50	70.00
<b>BGP 169</b>	1	9.05	45.50	5.75	6.00	1.97	65.00	23.00	2.00	76.00
<b>BGP 169</b>	2	7.90	38.00	5.78	6.00	2.30	50.00	16.00	1.00	90.00
<b>BGP 172</b>	1	8.21	40.50	6.75	7.68	2.09	70.88	24.08	1.26	86.06
<b>BGP 172</b>	2	8.20	41.13	6.94	8.00	1.88	71.50	22.50	1.50	83.00
<b>BGP 180</b>	1	9.05	37.00	6.00	10.00	2.50	68.00	25.00	2.00	76.00
<b>BGP 180</b>	2	9.35	44.50	6.13	6.00	1.60	66.00	24.00	2.00	76.00
<b>BGP 184</b>	1	7.90	40.13	5.69	4.50	1.58	64.00	22.50	2.00	76.00
<b>BGP 184</b>	2	7.89	40.75	5.88	4.82	1.37	64.62	20.92	2.24	72.94
<b>BGP 185</b>	1	8.38	38.25	6.31	5.50	2.55	54.00	20.50	1.00	89.00
<b>BGP 185</b>	2	8.37	38.87	6.50	5.82	2.34	54.62	18.92	1.24	85.94
<b>BGP 194</b>	1	9.53	42.00	6.03	7.00	2.70	63.00	22.00	2.00	76.00
<b>BGP 194</b>	2	9.25	41.75	7.13	8.00	2.90	67.00	18.00	1.00	90.00
<b>BGP 196</b>	1	9.93	41.25	5.13	6.00	2.18	70.00	24.00	2.00	76.00
<b>BGP 196</b>	2	8.70	38.63	6.00	7.50	1.90	75.50	22.00	2.50	70.00
<b>BGP 200</b>	1	8.90	38.63	5.25	8.00	2.40	66.00	19.50	1.50	83.50
<b>BGP 200</b>	2	10.85	37.25	6.38	9.00	2.10	80.00	24.00	3.00	64.00
<b>BGP 201</b>	1	8.10	37.25	5.38	7.00	1.75	67.00	25.00	2.00	76.00
<b>BGP 201</b>	2	9.35	40.25	4.63	8.00	2.50	73.00	20.00	2.00	76.00
<b>BGP 204</b>	1	9.71	39.62	5.87	9.18	2.31	70.38	23.58	2.26	73.06
<b>BGP 204</b>	2	9.70	40.25	6.06	9.50	2.10	71.00	22.00	2.50	70.00
<b>BGP 210</b>	1	8.67	35.75	5.08	5.50	2.63	59.50	23.00	1.50	83.50

<b>BGP 210</b>	2	9.75	34.50	5.63	7.00	4.25	66.00	23.00	1.00	90.00
<b>BGP 212</b>	1	9.73	28.75	5.25	5.00	4.30	69.00	22.00	2.00	76.00
<b>BGP 212</b>	2	7.75	28.00	4.75	5.00	2.10	48.00	17.00	2.00	76.00
<b>BGP 214</b>	1	7.75	34.50	5.13	4.00	2.50	55.00	21.00	1.00	91.00
<b>BGP 214</b>	2	9.65	36.00	5.90	7.00	3.25	70.00	22.00	2.00	76.00
<b>BGP 215</b>	1	8.93	33.00	4.83	7.00	2.50	75.00	28.00	2.00	76.00
<b>BGP 215</b>	2	10.74	38.88	4.88	6.00	2.80	84.50	24.00	3.00	64.00
<b>BGP 216</b>	1	8.50	36.50	5.50	7.00	3.00	61.00	23.00	1.00	89.00
<b>BGP 216</b>	2	7.25	35.50	5.00	8.00	1.70	53.00	19.00	2.00	76.00
<b>BGP 218</b>	1	8.70	37.00	4.94	5.50	2.60	58.50	17.00	1.50	82.50
<b>BGP 218</b>	2	9.87	35.00	5.50	8.00	3.23	68.00	24.50	2.00	76.00
<b>BGP 219</b>	1	10.28	35.75	5.38	6.50	2.38	73.50	21.50	3.00	64.00
<b>BGP 219</b>	2	10.27	36.37	5.57	6.82	2.17	74.12	19.92	3.24	60.94
<b>BGP 222</b>	1	9.90	32.50	5.13	7.00	3.50	59.00	22.00	1.00	89.00
<b>BGP 222</b>	2	10.00	35.75	5.25	7.00	3.65	57.50	21.50	1.50	83.00
<b>BGP 224</b>	1	9.35	34.50	5.03	8.00	3.80	72.00	19.00	2.00	76.00
<b>BGP 224</b>	2	10.75	31.50	4.88	7.00	5.00	71.00	15.00	2.00	76.00
<b>BGP 227</b>	1	9.75	33.25	5.08	6.00	3.50	53.00	21.00	1.00	89.00
<b>BGP 227</b>	2	10.25	32.88	5.94	5.50	2.88	73.00	23.50	2.50	70.00
<b>BGP 228</b>	1	9.05	33.75	4.94	8.00	2.93	84.00	21.50	2.00	76.00
<b>BGP 228</b>	2	9.75	35.50	5.13	8.00	2.50	61.00	21.00	2.00	76.00
<b>BGP 229</b>	1	8.43	33.38	4.50	7.00	2.20	70.50	21.00	2.00	76.00
<b>BGP 229</b>	2	8.42	34.05	4.69	7.32	1.99	71.12	19.42	2.24	72.94
<b>BGP 235</b>	1	7.38	38.13	5.00	6.50	2.05	62.00	21.50	1.50	82.50
<b>BGP 235</b>	2	7.37	38.75	5.19	6.82	1.84	62.62	19.92	1.74	79.44
<b>BGP 237</b>	1	8.65	36.75	5.63	7.00	3.25	59.00	25.00	1.00	89.00
<b>BGP 237</b>	2	9.27	33.50	5.75	7.00	3.38	70.50	21.00	2.00	76.00
<b>BGP 240</b>	1	8.94	31.63	4.38	8.50	2.50	69.50	21.50	2.00	76.00
<b>BGP 240</b>	2	7.33	36.75	4.63	5.50	2.35	64.00	21.00	1.50	83.00
<b>BGP 241</b>	1	10.10	36.25	4.50	8.00	4.20	83.00	23.00	2.00	76.00
<b>BGP 241</b>	2	6.00	36.00	4.50	4.00	1.80	51.00	16.00	2.00	76.00
<b>BGP 248</b>	1	9.45	28.50	6.00	2.00	5.90	49.00	18.00	1.00	90.00
<b>BGP 248</b>	2	9.25	35.50	5.88	7.00	2.80	79.00	23.00	2.00	76.00

**Tabela suplementar 2-** Valor médio das variáveis número de cachos produtivos (NCP), massa média do cacho (MMC), número de frutos por cacho (NFC), número total de frutos (NTF), massa total de frutos (MTF), massa média do cacho vazio (MCV), comprimento da ráquis (CR), largura de ráquis (LR), teor de óleo da polpa (TOP) e produção de óleo por planta (POP) de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*.

Acessos	Blocos	Características Produtivas									
		NCP	MMC	NFC	NTF	MTF	MCV	CR	LR	TOP	POP
<b>BGP 150</b>	1	1.00	1	16.00	16.00	0.50	0.5	77.00	42	43.04	0.032
<b>BGP 150</b>	2	9.00	7.581	251.44	2263.00	60.71	0.835	100.00	47	40.07	4.421
<b>BGP 151</b>	1	4.94	1.489	19.06	141.22	5.28	0.77906	81.14	38	48.43	0.6186
<b>BGP 151</b>	2	5.50	2.1	37.94	266.00	8.63	0.8625	87.50	46	44.66	0.494

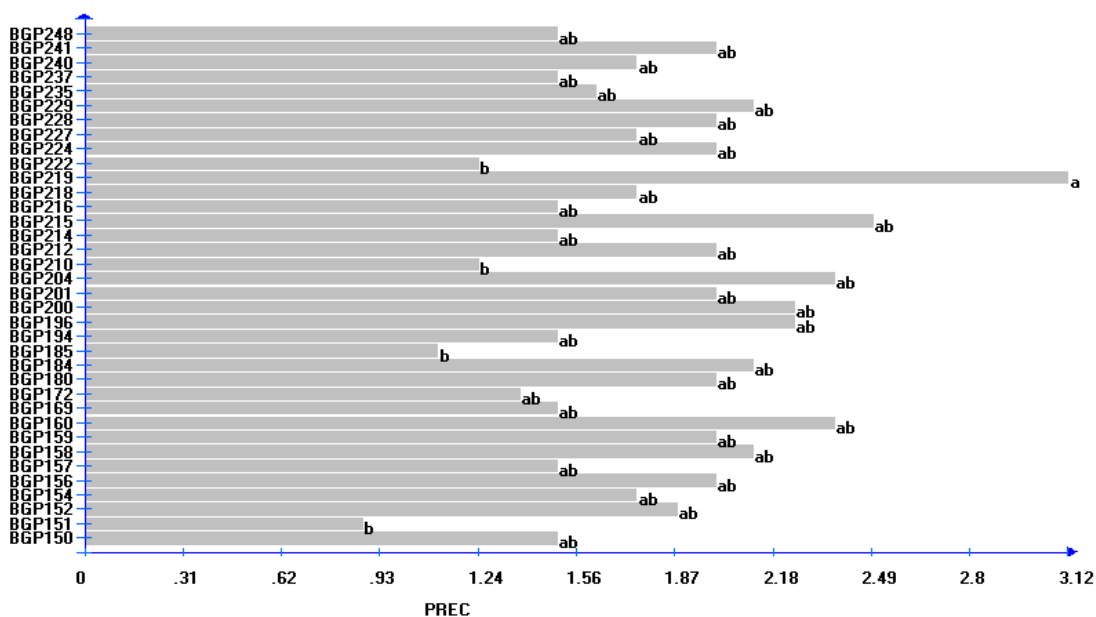
<b>BGP 152</b>	1	5.94	5.241	138.85	869.72	27.76	0.92806	91.64	37	45.43	2.851
<b>BGP 152</b>	2	6.50	5.852	157.73	994.50	31.11	1.011	98.00	44	41.66	2.727
<b>BGP 154</b>	1	8.00	8.535	165.50	1324.00	59.22	1.132	101.00	53	49.44	7.533
<b>BGP 154</b>	2	6.00	4.905	109.01	752.50	26.70	1.047	117.50	52	39.71	4.31
<b>BGP 156</b>	1	7.00	4.817	118.79	831.50	28.16	0.795	95.00	52	32.61	3.071
<b>BGP 156</b>	2	7.00	2.979	72.50	507.50	16.25	0.6575	91.00	41	12.92	0.46
<b>BGP 157</b>	1	6.00	1.617	28.17	169.00	6.67	0.505	108.00	53	40.46	0.337
<b>BGP 157</b>	2	7.00	1.589	28.71	201.00	6.36	0.68	124.00	51	58	0.827
<b>BGP 158</b>	1	6.00	6.323	126.33	792.50	34.56	0.9365	95.50	48	53.45	5.05
<b>BGP 158</b>	2	6.56	6.933	145.20	917.28	37.90	1.019	101.86	56	49.68	4.925
<b>BGP 159</b>	1	3.50	9.55	218.35	801.50	29.93	1.006	111.50	58	62.86	3.914
<b>BGP 159</b>	2	5.00	10.224	404.60	2023.00	47.56	0.712	94.00	50	54.05	5.711
<b>BGP 160</b>	1	3.94	15.499	320.62	1428.22	59.74	1.361	120.14	54	64.19	11.688
<b>BGP 160</b>	2	4.50	16.11	339.50	1553.00	63.09	1.445	126.50	61	60.42	11.564
<b>BGP 169</b>	1	6.00	11.36	191.00	1146.00	59.22	1.49	92.00	59	55.51	6.939
<b>BGP 169</b>	2	5.00	2.219	38.60	193.00	8.60	0.5	85.00	49	49.22	0.758
<b>BGP 172</b>	1	5.94	4.627	95.55	729.72	30.39	0.71906	83.14	35	58.63	3.582
<b>BGP 172</b>	2	6.50	5.238	114.43	854.50	33.74	0.8025	89.50	42	54.86	3.458
<b>BGP 180</b>	1	10.00	9.873	212.00	2120.00	89.13	0.96	96.00	49	49.75	11.289
<b>BGP 180</b>	2	6.00	8.98	259.83	1559.00	48.69	0.866	96.00	59	50.61	5.6
<b>BGP 184</b>	1	3.00	6.271	146.40	618.00	20.02	1.045	96.00	45	26.62	1.678
<b>BGP 184</b>	2	3.56	6.881	165.27	742.78	23.36	1.128	102.36	53	22.85	1.553
<b>BGP 185</b>	1	4.50	4.779	98.68	480.50	18.95	0.865	113.00	50.5	30.73	1.369
<b>BGP 185</b>	2	5.06	5.389	117.55	605.28	22.29	0.94844	119.36	58	26.96	1.244
<b>BGP 194</b>	1	6.00	4.842	94.17	565.00	22.66	1.065	95.00	45	38.51	2.616
<b>BGP 194</b>	2	4.00	4.594	86.50	346.00	13.82	1.14	123.00	65	50.62	1.788
<b>BGP 196</b>	1	5.00	9.035	203.00	1015.00	38.10	1.415	111.00	53	46.59	3.641
<b>BGP 196</b>	2	7.00	10.023	233.31	1697.50	63.97	1.243	109.50	60	49.71	6.479
<b>BGP 200</b>	1	4.50	3.83	104.75	705.00	20.48	0.6925	79.00	37	53.44	3.073
<b>BGP 200</b>	2	9.00	6.928	159.22	1433.00	54.21	0.905	83.00	42	53.95	6.51
<b>BGP 201</b>	1	7.00	6.417	140.86	986.00	37.10	1.117	110.00	55	49.49	4.86
<b>BGP 201</b>	2	7.00	3.176	65.00	455.00	16.15	0.87	101.00	47	54.63	1.601
<b>BGP 204</b>	1	7.94	5.904	127.26	1134.72	45.41	0.73906	89.14	42	58.36	5.943
<b>BGP 204</b>	2	8.50	6.515	146.14	1259.50	48.76	0.8225	95.50	49	54.59	5.819
<b>BGP 210</b>	1	5.00	6.458	101.13	484.50	25.22	1.353	98.50	50	59.82	4.435
<b>BGP 210</b>	2	6.00	2.015	9.00	54.00	3.60	1.415	96.00	51	27.14	0.197
<b>BGP 212</b>	1	4.00	7.786	117.25	469.00	24.50	1.662	122.00	55	61.99	4.836
<b>BGP 212</b>	2	4.00	4.075	74.00	296.00	13.50	0.7	93.00	39	46.76	1.48
<b>BGP 214</b>	1	2.00	2.795	29.00	58.00	3.29	1.15	89.00	42	50.43	0.416
<b>BGP 214</b>	2	6.00	8.572	110.33	662.00	39.79	1.94	123.00	70	41.47	3.934
<b>BGP 215</b>	1	4.00	2.064	21.50	86.00	4.20	1.015	95.00	47	40.91	0.498
<b>BGP 215</b>	2	3.50	13.07	203.92	768.00	42.04	1.708	125.50	70	53.76	5.271
<b>BGP 216</b>	1	6.00	7.451	133.00	798.00	37.30	1.235	108.00	46	65.01	5.506
<b>BGP 216</b>	2	6.00	11.538	244.00	1464.00	61.44	1.298	94.00	57	68.28	10.653
<b>BGP 218</b>	1	5.50	4.104	85.55	467.50	17.06	0.9475	103.50	55	50.45	3.048
<b>BGP 218</b>	2	8.00	9.274	158.15	1257.50	63.56	1.317	112.00	54	53.82	11.105
<b>BGP 219</b>	1	6.50	11.955	182.90	1043.00	53.43	2.06	124.00	59	61.31	9.747
<b>BGP 219</b>	2	7.06	12.565	201.77	1167.78	56.77	2.143	130.36	67	57.54	9.622
<b>BGP 222</b>	1	5.00	5.031	75.20	376.00	20.63	0.905	86.00	29	64.22	3.479
<b>BGP 222</b>	2	6.50	7.601	125.79	1006.50	46.76	1.404	111.00	54	61.69	8.128
<b>BGP 224</b>	1	8.00	10.935	268.75	2150.00	74.76	1.59	116.00	48	51.49	9.714

<b>BGP 224</b>	2	7.00	5.972	90.71	635.00	32.43	1.34	126.00	64	61.04	6.23
<b>BGP 227</b>	1	3.00	2.005	26.67	80.00	3.69	0.775	92.00	37	53.86	0.863
<b>BGP 227</b>	2	3.00	3.176	21.25	69.50	4.74	1.687	126.50	67	51.84	0.587
<b>BGP 228</b>	1	6.00	7.463	118.04	655.50	34.24	1.312	114.00	52	57.89	4.482
<b>BGP 228</b>	2	7.00	7.376	102.71	719.00	43.37	1.18	100.00	70	31.92	2.44
<b>BGP 229</b>	1	5.50	4.017	70.13	410.50	16.11	1.282	112.50	59	45.07	3.065
<b>BGP 229</b>	2	6.06	4.627	89.01	535.28	19.45	1.365	118.86	67	41.3	2.940
<b>BGP 235</b>	1	5.50	3.865	55.27	353.50	17.25	1.085	88.00	50	49.25	1.962
<b>BGP 235</b>	2	6.06	4.475	74.14	478.28	20.59	1.168	94.36	58	45.48	1.837
<b>BGP 237</b>	1	6.00	6.338	80.33	482.00	29.03	1.5	110.00	52	54.04	4.593
<b>BGP 237</b>	2	4.50	10.27	142.83	596.00	35.64	1.628	126.50	69	55.65	4.715
<b>BGP 240</b>	1	2.50	2.276	38.50	109.50	3.85	0.93	116.00	57	51.08	0.762
<b>BGP 240</b>	2	4.50	11.247	170.08	697.50	39.33	1.669	110.50	56	54.38	4.75
<b>BGP 241</b>	1	7.00	8.761	128.57	900.00	50.02	1.615	119.00	57	72.61	11.725
<b>BGP 241</b>	2	2.00	2.775	24.50	49.00	3.77	0.89	109.50	57	47.32	0.314
<b>BGP 248</b>	1	1.00	8.34	102.00	102.00	7.32	1.025	90.00	35	60.77	1.145
<b>BGP 248</b>	2	3.00	7.785	104.00	312.00	16.92	2.145	116.00	68	53.46	1.423

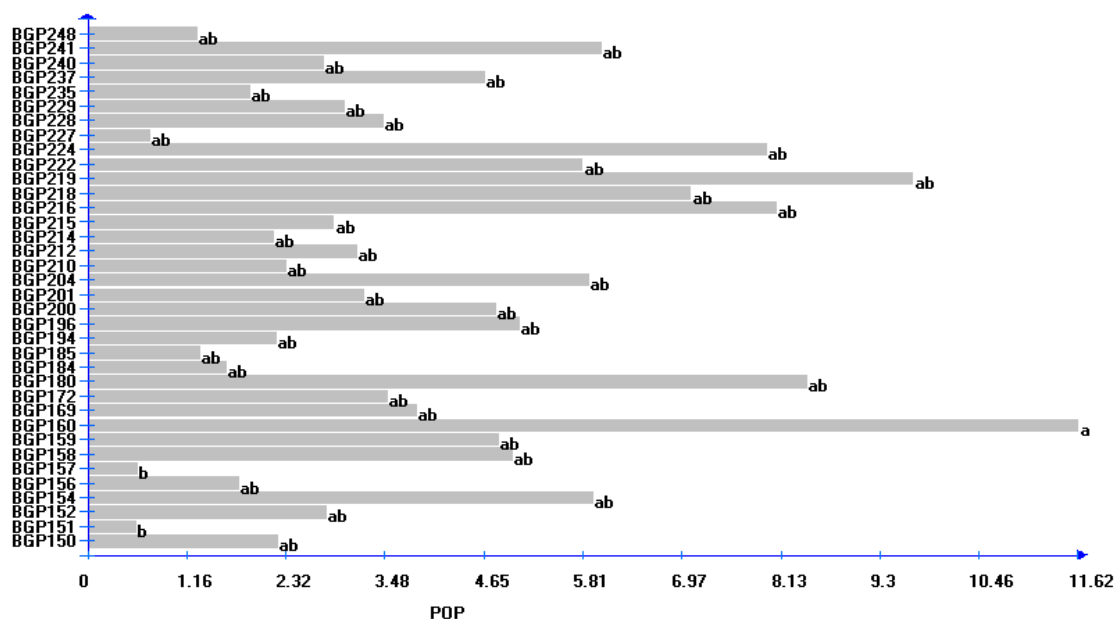
**Tabela suplementar 3-** Valor médio das variáveis massa fresca média do fruto (MFF), diâmetro médio transversal do fruto (DTF), diâmetro médio longitudinal do fruto (DLF), volume do fruto (VF), espessura média do endocarpo (EE), índice de massa processável (IMP), massa fresca do epicarpo (MFEP), massa fresca da polpa (MFM), massa fresca do endocarpo (MFEN), massa fresca da amêndoa (MFA), massa seca do epicarpo (MSEP); massa seca da polpa (MSM), massa seca do endocarpo (MSEN) e massa seca da amêndoa (MSA) de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*.

Acessos	Blocos	Características Biométricas dos frutos													
		MFF	DTF	DLF	VF	EE	IMP	MFEP	MFM	MFEN	MFA	MSEP	MSM	MSEN	MSA
<b>BGP 150</b>	1	30.24	42.19	39.53	38.00	4.52	33.16	7.68	10.66	8.49	1.98	5.26	4.66	7.02	1.60
<b>BGP 150</b>	2	30.41	39.18	39.69	32.00	3.80	31.57	7.60	11.72	7.45	2.06	4.45	4.88	6.34	1.68
<b>BGP 151</b>	1	37.57	42.46	41.99	35.48	4.13	34.02	9.29	13.20	8.40	3.31	6.02	6.45	7.20	1.73
<b>BGP 151</b>	2	37.46	42.19	41.51	36.38	4.22	33.57	9.22	13.19	8.38	3.21	5.62	5.08	7.02	1.62
<b>BGP 152</b>	1	33.52	39.64	37.97	30.10	4.20	31.24	7.28	13.96	8.34	2.23	4.49	7.96	7.29	1.80
<b>BGP 152</b>	2	33.41	39.37	37.49	31.00	4.29	30.79	7.21	13.95	8.32	2.13	4.09	6.59	7.11	1.69
<b>BGP 154</b>	1	52.24	45.11	44.18	45.75	4.21	36.69	10.30	22.32	12.41	4.49	5.53	11.51	10.41	3.47
<b>BGP 154</b>	2	41.29	43.84	43.42	42.50	4.66	34.52	9.18	16.50	10.44	2.33	5.71	7.26	8.62	1.88
<b>BGP 156</b>	1	43.08	42.26	41.71	39.25	4.40	33.45	8.14	19.47	10.71	2.46	4.53	7.64	8.70	1.79
<b>BGP 156</b>	2	40.09	41.67	40.31	37.13	3.83	34.01	8.55	17.34	8.85	2.71	3.65	3.91	6.97	1.84
<b>BGP 157</b>	1	39.06	42.74	42.43	39.00	4.39	33.96	8.25	15.69	10.76	1.97	4.48	4.93	8.63	1.44
<b>BGP 157</b>	2	37.65	42.60	39.99	38.50	4.59	33.41	7.62	17.14	9.31	2.07	4.33	7.10	7.36	1.64
<b>BGP 158</b>	1	43.27	42.70	41.66	41.00	4.00	34.71	9.56	19.93	9.12	2.24	5.72	10.62	7.56	1.85
<b>BGP 158</b>	2	43.16	42.42	41.17	41.89	4.09	34.25	9.48	19.91	9.09	2.13	5.31	9.24	7.37	1.73
<b>BGP 159</b>	1	39.40	43.31	41.56	39.75	4.07	35.16	9.56	15.33	9.92	2.70	6.45	8.69	8.22	2.17
<b>BGP 159</b>	2	24.22	36.50	36.99	26.00	3.16	30.17	6.11	9.70	5.45	1.71	3.70	5.22	4.60	1.47
<b>BGP 160</b>	1	53.63	45.75	49.04	51.23	4.11	37.53	11.28	25.46	11.34	3.39	7.15	15.00	9.22	2.66
<b>BGP 160</b>	2	53.52	45.48	48.56	52.13	4.20	37.08	11.21	25.45	11.32	3.29	6.75	13.63	9.04	2.55
<b>BGP 169</b>	1	47.52	44.19	45.40	47.50	4.13	35.93	10.08	24.68	8.14	2.02	5.13	10.91	6.53	1.62
<b>BGP 169</b>	2	44.05	43.70	41.09	40.00	4.12	35.46	9.92	18.47	10.23	3.00	5.12	7.98	8.32	2.34
<b>BGP 172</b>	1	37.53	41.32	41.64	36.10	4.29	32.73	9.13	14.15	10.17	2.29	5.26	7.98	8.44	1.79
<b>BGP 172</b>	2	37.42	41.05	41.16	37.00	4.38	32.28	9.06	14.14	10.15	2.19	4.86	6.61	8.26	1.68

<b>BGP 180</b>	1	43.47	42.59	42.69	39.00	3.94	34.72	9.44	20.40	8.40	2.70	5.40	10.70	7.33	2.26
<b>BGP 180</b>	2	35.32	39.77	39.02	35.75	3.85	32.06	8.09	15.60	7.76	1.89	4.42	7.10	6.61	1.53
<b>BGP 184</b>	1	47.52	43.48	44.07	45.38	4.61	34.27	9.59	21.23	11.18	2.63	5.04	7.18	9.40	2.07
<b>BGP 184</b>	2	47.41	43.20	43.58	46.27	4.70	33.81	9.51	21.21	11.15	2.52	4.63	5.80	9.21	1.95
<b>BGP 185</b>	1	47.86	44.45	44.70	45.88	5.04	34.37	9.92	19.71	12.73	2.50	5.78	8.13	10.66	1.96
<b>BGP 185</b>	2	47.75	44.17	44.21	46.77	5.13	33.91	9.84	19.69	12.70	2.39	5.37	6.75	10.47	1.84
<b>BGP 194</b>	1	47.79	43.83	42.63	42.00	4.80	34.22	7.89	23.02	10.43	2.43	5.33	12.03	8.99	1.96
<b>BGP 194</b>	2	42.35	42.29	42.02	38.75	4.87	32.54	7.43	21.04	8.85	1.51	4.46	10.21	7.49	1.24
<b>BGP 196</b>	1	32.92	38.59	39.06	27.25	4.07	30.44	6.48	14.18	7.76	2.10	3.76	7.70	6.69	1.71
<b>BGP 196</b>	2	39.53	41.72	40.67	36.25	4.58	32.56	7.27	15.47	10.73	2.59	4.57	8.36	9.11	2.14
<b>BGP 200</b>	1	36.42	41.09	41.06	36.38	4.68	31.73	6.86	14.82	9.70	2.10	4.61	7.56	8.17	1.74
<b>BGP 200</b>	2	36.82	40.02	39.80	34.25	4.60	30.81	8.07	15.18	9.15	1.86	5.01	8.42	7.85	1.56
<b>BGP 201</b>	1	44.19	42.83	44.43	40.50	4.59	33.64	9.29	18.51	11.03	2.80	5.16	9.96	9.39	2.23
<b>BGP 201</b>	2	32.16	40.66	38.47	33.50	3.91	32.84	6.93	10.68	9.24	3.00	4.77	6.44	7.84	2.13
<b>BGP 204</b>	1	42.08	43.01	40.87	38.48	4.48	34.04	9.59	15.92	11.25	2.72	6.10	10.05	9.83	2.41
<b>BGP 204</b>	2	41.97	42.74	40.39	39.38	4.57	33.59	9.52	15.91	11.23	2.62	5.70	8.68	9.65	2.30
<b>BGP 210</b>	1	65.18	49.21	50.58	63.00	4.91	39.39	14.59	31.58	12.02	2.84	8.40	15.26	9.81	2.32
<b>BGP 210</b>	2	74.66	51.29	50.48	71.75	5.13	41.03	17.95	37.13	12.49	2.87	8.34	13.43	9.95	2.29
<b>BGP 212</b>	1	56.00	46.08	48.89	51.75	4.78	36.51	11.04	30.35	9.82	2.20	7.40	16.63	8.13	1.83
<b>BGP 212</b>	2	48.48	43.20	46.96	44.25	5.30	32.60	11.17	20.18	11.34	2.30	6.74	10.70	9.46	1.89
<b>BGP 214</b>	1	60.67	48.13	48.38	56.50	5.38	37.38	11.42	29.78	13.02	2.71	6.76	14.22	10.61	2.17
<b>BGP 214</b>	2	67.94	49.77	49.77	64.00	4.70	40.37	9.61	33.31	16.25	4.32	6.22	14.33	12.88	3.29
<b>BGP 215</b>	1	68.62	49.84	51.70	66.50	4.80	40.23	16.89	30.30	12.10	2.83	10.07	14.15	9.91	2.30
<b>BGP 215</b>	2	54.55	46.23	48.48	55.75	4.56	37.11	10.20	28.03	9.94	2.37	6.22	12.21	7.99	1.96
<b>BGP 216</b>	1	47.28	43.37	44.51	46.00	4.15	35.07	7.73	21.96	10.59	2.66	4.99	10.61	8.72	2.27
<b>BGP 216</b>	2	49.16	43.67	44.95	47.75	4.89	33.89	6.67	21.52	11.77	3.13	4.38	10.66	9.99	2.56
<b>BGP 218</b>	1	51.51	45.10	44.70	49.38	4.93	35.25	8.95	23.47	11.39	2.53	6.09	12.93	9.77	2.12
<b>BGP 218</b>	2	58.96	47.43	49.40	58.25	4.86	37.72	12.63	29.68	10.45	2.50	7.34	15.30	8.84	2.00
<b>BGP 219</b>	1	57.53	46.29	47.94	54.13	4.66	36.98	11.53	27.53	11.80	3.01	7.89	15.12	9.71	2.45
<b>BGP 219</b>	2	57.42	46.01	47.75	55.02	4.75	36.52	11.45	27.51	11.77	2.90	7.48	13.74	9.52	2.33
<b>BGP 222</b>	1	59.59	47.02	47.88	55.50	5.03	36.97	11.29	26.16	14.75	3.35	7.55	14.41	12.11	2.63
<b>BGP 222</b>	2	61.24	48.29	47.89	57.38	5.51	37.27	11.19	27.93	14.95	3.62	7.43	14.91	12.45	2.88
<b>BGP 224</b>	1	42.54	42.64	41.92	43.50	4.66	33.33	8.96	17.59	10.68	2.71	5.07	8.78	9.02	2.21
<b>BGP 224</b>	2	56.18	47.87	43.96	58.75	4.94	37.99	10.62	27.07	12.57	2.57	7.29	16.07	10.35	2.14
<b>BGP 227</b>	1	73.16	50.68	52.34	63.00	4.87	40.95	18.76	36.18	12.40	2.82	11.75	20.02	10.49	2.29
<b>BGP 227</b>	2	83.75	52.23	55.04	80.00	5.11	42.01	17.69	42.87	14.21	3.18	10.13	21.38	11.51	2.48
<b>BGP 228</b>	1	52.46	45.99	46.39	51.00	4.20	37.59	8.55	25.03	11.10	3.28	5.23	12.57	9.00	2.64
<b>BGP 228</b>	2	73.20	50.40	52.40	72.00	4.96	40.48	13.48	36.77	12.14	2.79	6.68	10.63	9.16	2.25
<b>BGP 229</b>	1	52.60	47.17	47.48	54.88	4.37	38.43	9.68	22.13	11.80	3.11	6.64	10.45	9.70	2.50
<b>BGP 229</b>	2	52.49	46.89	46.99	55.77	4.46	37.97	9.60	22.11	11.77	3.00	6.23	9.07	9.51	2.38
<b>BGP 235</b>	1	53.80	45.67	46.19	51.38	4.34	36.99	10.00	24.88	9.99	2.58	5.89	11.72	8.35	2.11
<b>BGP 235</b>	2	53.69	45.39	45.70	52.27	4.43	36.53	9.92	24.86	9.96	2.47	5.48	10.34	8.16	1.99
<b>BGP 237</b>	1	63.46	48.04	48.92	59.75	4.33	39.38	13.45	32.35	11.63	2.80	8.76	17.64	9.84	2.35
<b>BGP 237</b>	2	54.63	45.84	46.60	50.13	4.72	36.39	8.98	29.19	12.63	2.33	6.17	14.11	9.05	1.90
<b>BGP 240</b>	1	47.25	45.56	43.98	46.38	4.65	36.26	7.70	21.47	10.44	2.11	5.59	9.00	8.17	1.72
<b>BGP 240</b>	2	49.48	44.67	43.03	47.38	4.66	35.34	9.52	23.81	10.63	2.59	6.00	11.90	8.81	2.08
<b>BGP 241</b>	1	62.03	48.71	48.05	60.50	4.63	39.45	12.32	32.48	11.09	2.72	7.40	17.94	9.29	2.18
<b>BGP 241</b>	2	76.76	51.72	50.94	74.00	5.61	40.51	18.18	37.45	13.56	2.50	8.24	13.55	10.69	2.01
<b>BGP 248</b>	1	67.32	49.30	49.51	65.50	4.75	39.79	13.19	34.12	13.31	3.28	7.22	18.48	10.65	2.67
<b>BGP 248</b>	2	57.78	46.95	49.01	59.00	5.20	36.56	12.24	27.82	11.09	2.07	6.33	8.53	8.74	1.70



**Figura suplementar 1-** Precocidade (PREC) representada como número de safras produtivas de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura suplementar 2-** Produção de óleo por planta em kg (POP) de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## MATERIAL SUPLEMENTAR – CAPÍTULO 2

**Tabela suplementar 1** - Resumo da Análise de Variância para as características vegetativas, produtivas e biométricas de frutos dos 36 acessos de *Acrocomia aculeata*.

<b>Características Vegetativas</b>	<b>QMA</b>	<b>QMR</b>	<b>F</b>	<b>MG</b>	<b>CV%</b>
Diâmetro de estipe (DE)	32.87	4.49	7.32**	37.66	5.63
Projeção da copa (PC)	0.71	0.09	8.30**	5.58	5.25
Altura da primeira espata (APE)	0.98	0.45	2.15*	2.51	26.88
Número de folhas fotossintetizantes (NFF)	11.53	6.08	1.90*	22.05	11.18
Precocidade (PREC)	0.39	0.19	1.99*	1.82	24.15
<b>Características Produtivas</b>	<b>QMA</b>	<b>QMR</b>	<b>F</b>	<b>MG</b>	<b>CV%</b>
Massa média do cacho (MMC)	15.56	7.89	1.97*	6.49	43.29
Número de frutos por cacho (NFC)	9283.51	3659.68	2.53**	126.08	47.98
Massa média do cacho vazio (MCV)	0.19	0.10	1.95*	1.14	27.55
Comprimento da ráquis (CR)	265.15	109.75	2.41**	103.98	10.07
Teor de óleo da polpa (TOP)	187.42	54.21	3.46**	49.72	14.81
Produção de óleo por planta (POP)	14.49	6.88	2.11*	4.11	63.73
<b>Características Biométricas</b>	<b>QMA</b>	<b>QMR</b>	<b>F</b>	<b>MG</b>	<b>CV%</b>
Diâmetro longitudinal do fruto (DLF)	31.74	2.81	11.31**	44.65	3.75
Espessura média do endocarpo (EE)	0.30	0.09	3.45**	4.55	6.49
Índice de massa processável (IMP)	14.64	2.00	7.29**	35.49	3.99
Massa fresca do epicarpo (MFEP)	12.99	2.63	4.94**	10.12	16.02
Massa fresca da polpa (MFP)	102.09	10.69	9.55**	22.49	14.53
Massa fresca do endocarpo (MFEN)	6.00	1.29	4.67**	10.77	10.53
Massa fresca da amêndoa (MFA)	0.38	0.20	1.94*	2.63	16.81
Massa seca da polpa (MSP)	26.37	4.09	6.45**	10.69	18.91

QMA: quadrado médio dos acessos; QMR: quadrado médio do resíduo; F:QMA/QMR; MG: média geral; CV%: coeficiente de variação experimental. \*\*, \*: Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

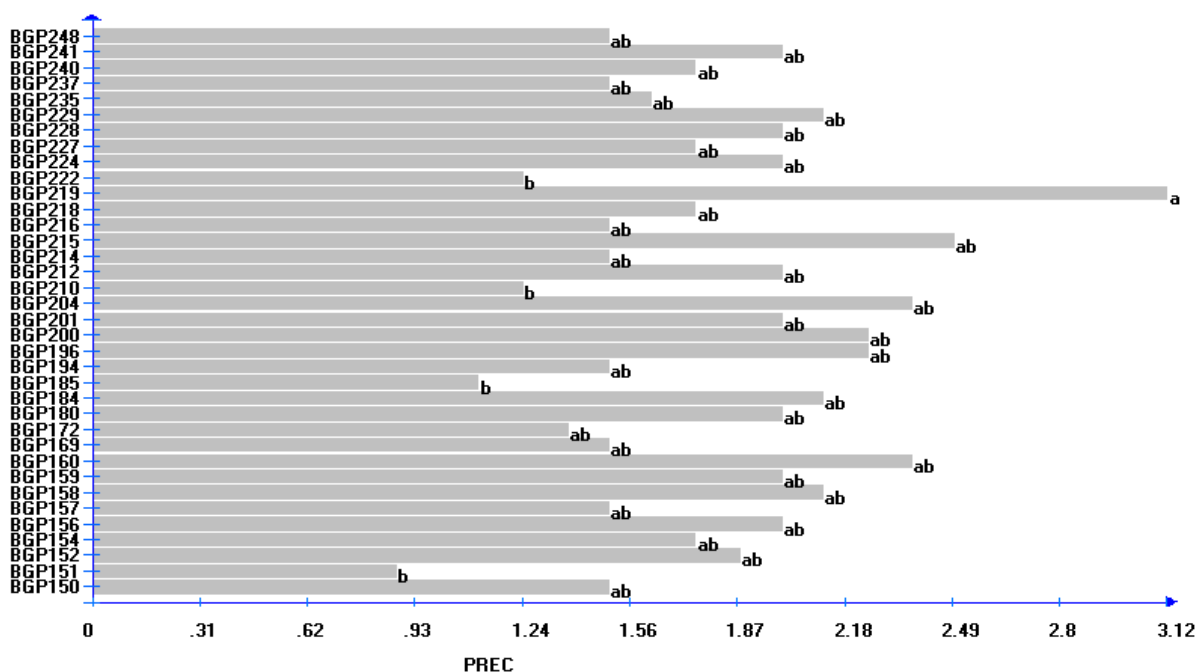
**Tabela Suplementar 2** - Estimativas dos coeficientes associados as variáveis canônicas que expressam a importância relativa dos caracteres vegetativos, produtivos e biométricos de frutos.

<b>Características Vegetativas</b>									
<b>Variável Canônica</b>	<b>DE</b>	<b>PC</b>	<b>APE</b>	<b>NFF</b>	<b>PREC</b>	<b>VA (%)</b>			
VC1	0.73	0.99	-0.18	-0.53	-0.01	68.61			
VC2	-0.18	0.43	0.32	-0.98	0.61	80.26			
VC3	0.65	-0.39	0.12	-0.38	0.74	90.66			
VC4	0.52	-0.26	0.78	-0.24	-0.38	96.68			
VC5	0.15	0.07	0.70	0.46	0.45	100.00			
<b>Características Produtivas</b>									
<b>Variável Canônica</b>	<b>MMC</b>	<b>NFC</b>	<b>MR</b>	<b>CR</b>	<b>TOP</b>	<b>POP</b>	<b>VA (%)</b>		
VC1	-0.25	-0.42	1.70	-1.39	0.84	-0.58	41.24		
VC2	-0.73	0.71	-0.44	-0.21	0.74	0.55	62.66		
VC3	-0.25	-1.07	-0.29	0.63	0.00	1.26	76.37		
VC4	1.11	0.05	0.05	0.45	0.35	-0.99	88.53		
VC5	0.88	-0.68	0.23	-0.52	-0.51	0.77	95.56		
VC6	-2.52	1.66	1.20	-0.03	-0.01	0.37	100.00		
<b>Características Biométricas</b>									
<b>Variável Canônica</b>	<b>DLF</b>	<b>EE</b>	<b>IMP</b>	<b>MFEP</b>	<b>MFP</b>	<b>MFEN</b>	<b>MFA</b>	<b>MSP</b>	<b>VA (%)</b>
VC1	1.32	-0.06	-0.14	-0.06	-0.57	-0.03	0.05	0.62	39.74
VC2	-1.26	-0.09	-1.05	0.22	1.66	1.20	-0.86	0.22	60.89
VC3	0.82	-0.01	-1.19	0.48	-1.37	0.21	0.19	1.13	72.79
VC4	0.42	0.46	-0.10	-1.05	0.21	0.28	0.47	-0.50	83.36
VC5	-0.24	1.40	-0.17	-0.20	0.66	-1.75	1.24	-0.02	89.79
VC6	-0.61	0.65	0.68	0.64	-0.58	-0.01	0.32	-0.06	94.03
VC7	0.06	-0.60	-1.46	0.66	1.23	0.28	0.64	-0.70	97.71
VC8	0.58	0.11	-0.15	0.17	-0.27	0.06	-0.57	-0.38	100.00

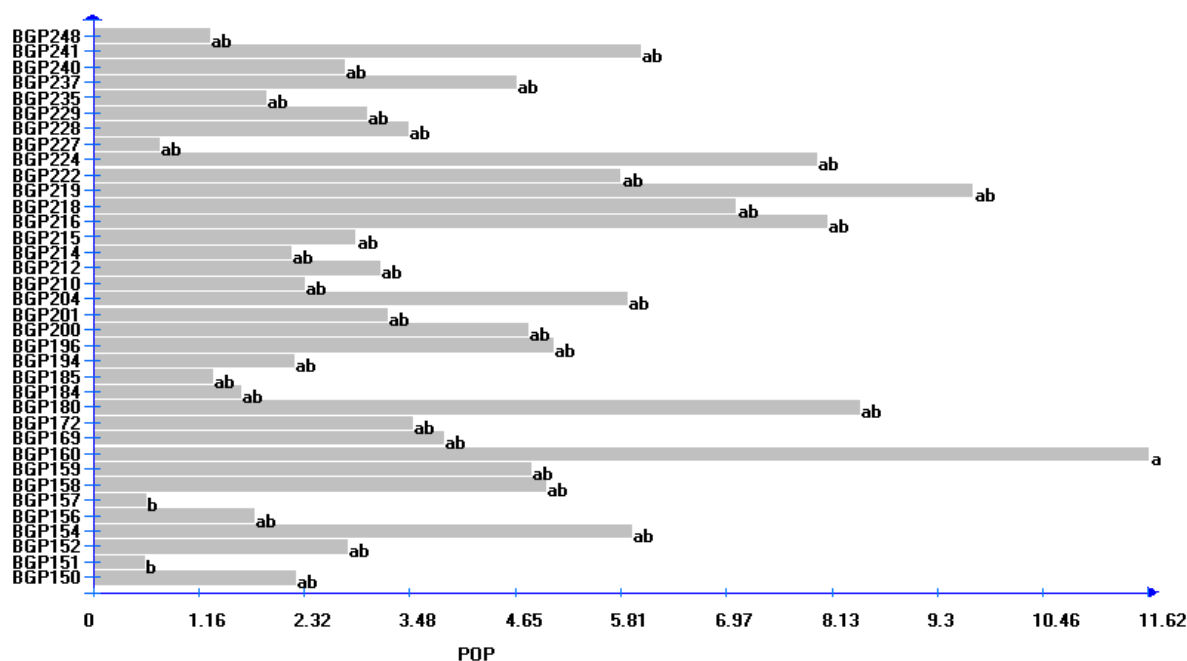
VA (%): Variação acumulada em porcentagem. VC: Variável canônica.

**Tabela Suplementar 3** – Estimativas dos autovalores e importância acumulada para as variáveis canônicas relacionadas aos caracteres vegetativos, produtivos e biométricos de frutos de *Acrocomia aculeata*.

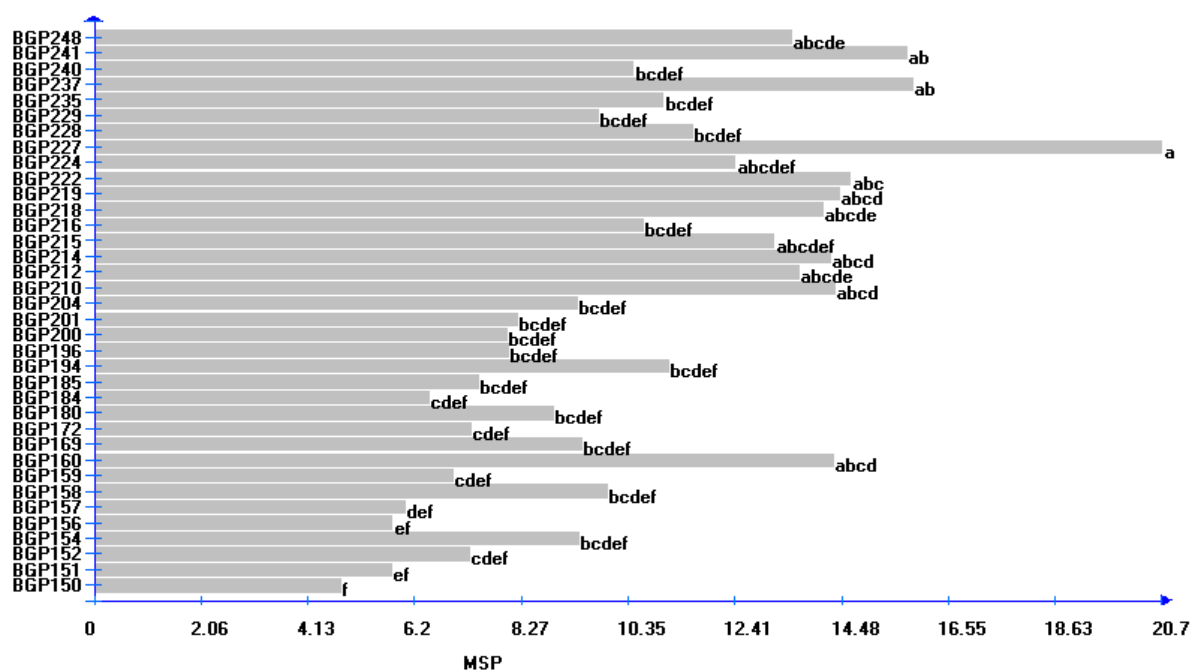
VC	Autovalo r	Importância (%)	Importância (% acumulada)	Características Vegetativas
1	9.24	68.61	68.61	PC
2	1.57	11.64	80.26	NFF
3	1.40	10.40	90.66	PREC
4	0.81	6.02	96.68	APE
5	0.45	3.32	100.00	APE
VC	Autovalo r	Importância (%)	Importância (% acumulada)	Características Produtivas
1	3.78	41.24	41.24	MR
2	1.96	21.42	62.66	TOP
3	1.26	13.72	76.37	POP
4	1.11	12.16	88.53	MMC
5	0.64	7.03	95.56	MMC
6	0.41	4.44	100.00	MMC
VC	Autovalo r	Importância (%)	Importância (% acumulada)	Características Biométricas
1	6.72	39.74	39.74	DLF
2	3.58	21.15	60.89	MFP
3	2.01	11.90	72.79	MFP
4	1.79	10.57	83.36	MFEP
5	1.09	6.43	89.79	MFEN
6	0.72	4.24	94.03	IMP
7	0.62	3.68	97.71	IMP
8	0.39	2.29	100.00	DLF



**Figura suplementar 1-** Precocidade (PREC) representada como número de safras produtivas de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura suplementar 2-** Produção de óleo por planta em kg (POP) de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



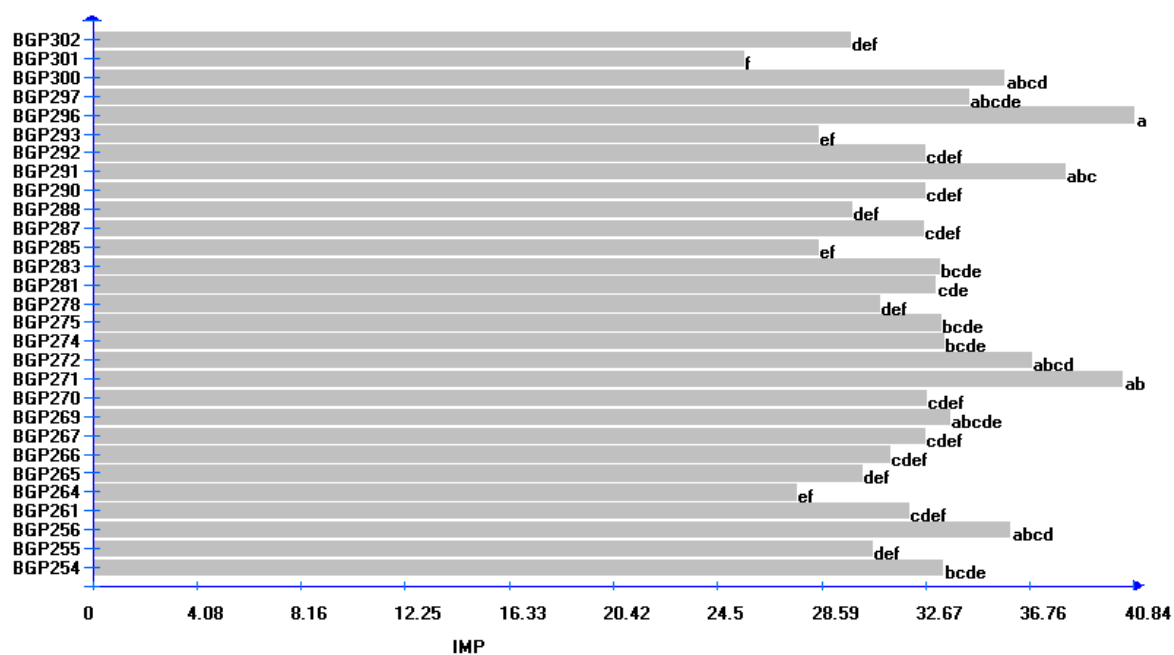
**Figura suplementar 3-** Massa seca da polpa em gramas (MSP) de 36 acessos de *Acrocomia aculeata*. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### MATERIAL SUPLEMENTAR – CAPÍTULO 3

**Tabela suplementar 1-** Valor médio das variáveis de massa fresca do fruto (MFF), diâmetro transversal do fruto (DTF); diâmetro longitudinal do fruto (DLF); volume do fruto (VF); espessura média do endocarpo (EE); índice de massa processável (IMP); massa fresca do epicarpo (MFEP); massa fresca da polpa (MFP); massa fresca do endocarpo (MFEN); massa fresca da amêndoa (MFA); massa seca do epicarpo (MSEP); massa seca da polpa (MSP); massa seca do endocarpo (MSEN) e massa seca da amêndoa (MSA) dos 29 acessos de *Acrocomia sp.* avaliados no BAG- Macaúba.

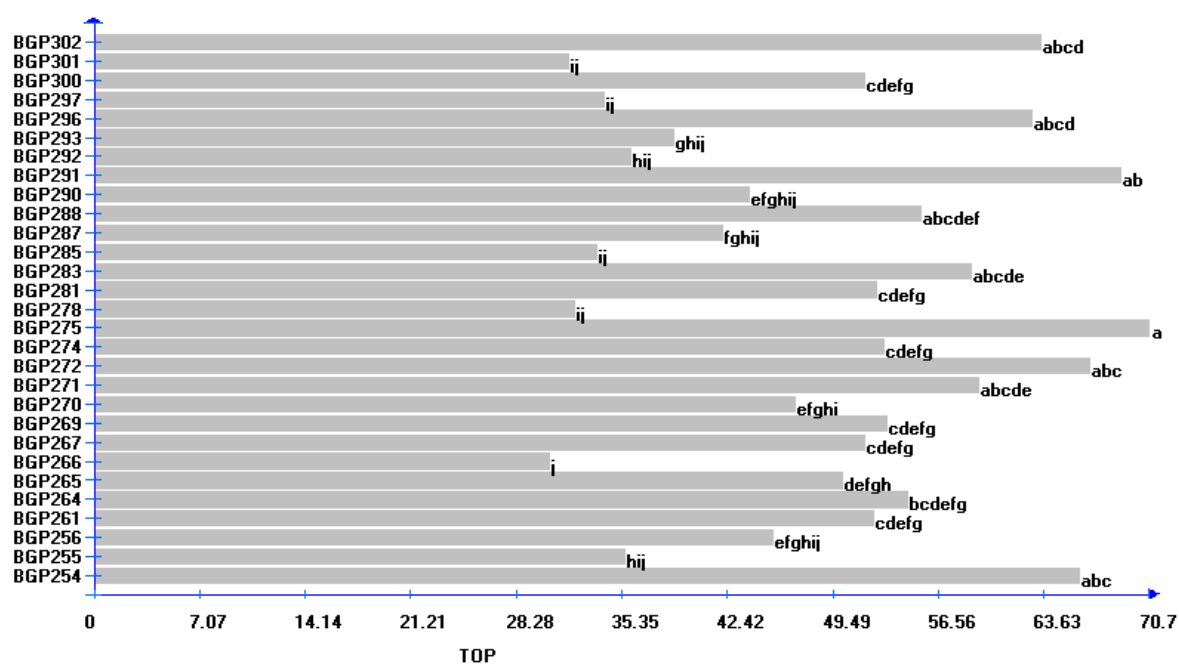
Acesso	Bloco	Caracteres Biométricos dos frutos													
		MFF	DTF	DLF	VF	EE	IMP	MFEP	MFP	MFEN	MFA	MSEP	MSP	MSEN	MSA
BGP 254	1	31.50	39.30	36.39	30.25	3.77	31.75	6.92	12.42	7.38	2.52	4.15	6.26	6.30	2.04
BGP 254	2	42.83	43.44	40.66	45.38	4.25	34.93	9.39	18.00	10.20	2.93	6.40	10.30	8.62	2.33
BGP 255	1	32.47	38.45	37.35	32.60	3.52	31.36	6.37	14.34	6.89	1.79	3.99	6.64	5.85	1.53
BGP 255	2	26.36	36.46	35.84	26.92	3.34	29.79	4.86	11.17	6.17	1.67	3.33	5.12	5.28	1.46
BGP 256	1	50.66	45.58	41.30	50.63	4.40	36.79	11.94	24.50	9.83	2.35	7.56	14.65	8.35	1.94
BGP 256	2	48.85	44.30	40.46	46.50	4.57	35.16	9.85	24.02	10.38	2.08	5.91	12.35	8.82	1.72
BGP 261	1	34.58	39.39	37.26	32.50	4.13	31.14	7.56	15.22	7.18	1.91	4.93	8.26	6.27	1.61
BGP 261	2	35.85	40.92	38.47	35.58	4.04	32.85	9.06	14.16	7.66	2.03	6.03	8.21	6.68	1.68
BGP 264	1	22.78	35.14	33.39	22.25	4.26	26.62	4.45	8.50	6.36	1.41	3.27	4.35	5.53	1.18
BGP 264	2	24.53	35.33	34.88	26.25	3.39	28.56	5.20	9.23	6.55	1.90	3.68	5.27	5.67	1.58
BGP 265	1	34.03	39.34	37.82	33.25	4.30	30.75	7.19	14.56	8.12	1.90	3.97	6.55	6.91	1.59
BGP 265	2	29.61	37.91	36.80	29.00	4.18	29.56	6.11	11.99	7.53	1.91	4.07	6.01	6.50	1.56
BGP 266	1	35.75	40.47	39.52	38.38	5.09	30.30	6.47	16.24	9.10	1.58	4.42	7.55	7.87	1.32
BGP 266	2	32.52	41.35	38.05	37.92	4.98	32.18	5.59	14.71	9.36	1.66	4.42	8.32	8.18	1.47
BGP 267	1	35.89	40.25	37.80	35.17	3.76	32.73	8.27	16.37	6.51	2.01	4.25	7.90	5.51	1.64
BGP 267	2	32.83	39.49	37.68	34.75	3.46	32.56	7.58	13.78	6.60	2.58	4.67	6.91	5.63	1.89
BGP 269	1	39.50	43.04	39.57	40.33	4.19	34.66	8.08	16.24	9.61	2.74	5.59	8.97	8.18	2.26
BGP 269	2	36.42	39.91	38.23	32.83	3.67	32.57	7.58	17.28	6.99	1.87	4.61	8.99	5.91	1.54
BGP 270	1	40.68	42.23	38.30	41.00	3.96	34.31	9.26	16.88	9.04	2.79	5.19	7.36	7.67	2.20
BGP 270	2	34.09	39.30	36.55	31.13	4.13	31.04	7.69	14.27	7.96	2.22	4.53	6.19	6.67	1.67
BGP 271	1	73.89	52.13	47.96	75.38	4.76	42.61	18.18	36.30	10.98	2.20	9.24	15.68	8.93	1.70
BGP 271	2	52.26	46.27	42.52	50.00	4.06	38.16	13.00	24.75	8.44	2.30	7.73	11.95	6.89	1.87
BGP 272	1	49.76	45.09	42.80	46.85	3.73	37.57	12.38	22.56	7.85	2.67	6.70	11.85	6.68	2.15
BGP 272	2	43.65	43.10	41.29	41.17	3.55	36.00	10.87	19.39	7.13	2.55	6.04	10.33	6.11	2.08
BGP 274	1	46.66	44.63	41.68	47.00	4.58	35.48	10.96	17.22	10.60	2.72	6.73	8.38	8.91	2.17
BGP 274	2	33.50	40.00	36.90	35.25	4.38	31.24	7.38	12.52	8.23	1.96	4.79	6.54	6.98	1.55
BGP 275	1	45.05	43.41	42.67	45.01	4.64	34.06	11.50	16.41	10.69	2.50	7.93	9.65	9.04	2.01
BGP 275	2	38.94	41.42	41.16	39.33	4.46	32.49	9.99	13.24	9.97	2.38	7.27	8.13	8.47	1.94
BGP 278	1	46.03	43.44	40.78	44.38	4.93	33.58	11.12	17.86	11.13	2.30	5.68	6.65	9.14	1.92
BGP 278	2	35.38	39.90	39.13	39.25	5.87	28.16	6.91	14.57	9.92	1.17	4.22	6.16	8.42	0.96
BGP 281	1	39.28	40.96	37.49	36.00	3.51	33.94	8.48	16.21	8.45	3.19	5.02	8.67	7.23	2.53
BGP 281	2	34.62	40.45	36.36	34.50	4.14	32.16	7.16	13.47	8.42	2.60	4.82	7.85	7.25	2.09
BGP 283	1	40.10	42.99	39.67	41.58	4.85	33.29	6.31	14.24	12.05	3.23	4.16	8.01	10.35	2.27
BGP 283	2	38.15	41.18	38.79	37.63	4.16	33.14	7.51	15.47	8.97	2.83	5.20	8.18	7.76	2.25
BGP 285	1	25.08	36.81	35.38	26.50	3.83	29.22	4.93	9.41	5.72	1.65	2.99	3.84	4.94	1.42
BGP 285	2	18.97	34.82	33.87	20.82	3.65	27.65	3.42	6.24	5.00	1.53	2.33	2.31	4.37	1.35
BGP 287	1	36.08	42.73	40.28	38.00	4.33	34.07	7.77	16.19	7.47	1.69	5.96	8.44	6.33	1.42
BGP 287	2	30.39	38.16	36.98	29.38	3.53	31.10	7.76	13.24	5.68	1.64	4.79	6.66	4.78	1.28
BGP 288	1	42.73	42.14	40.63	41.63	4.64	32.86	7.28	19.87	9.86	1.99	4.96	10.88	8.34	1.66

BGP 288	2	18.50	34.19	33.07	22.75	3.75	26.70	3.55	7.11	5.51	1.40	2.87	4.42	4.75	1.17
BGP 290	1	52.22	44.54	42.34	49.63	4.63	35.28	10.61	26.56	9.89	2.24	6.43	13.63	8.22	1.83
BGP 290	2	37.00	39.35	39.10	36.08	4.71	29.93	7.96	16.11	8.36	1.61	4.78	8.14	6.99	1.28
BGP 291	1	62.77	48.85	48.97	65.00	4.09	40.66	23.84	24.63	8.41	2.17	14.34	14.91	7.13	1.79
BGP 291	2	46.05	44.68	42.45	45.42	4.55	35.58	12.82	18.47	9.29	1.97	9.46	10.39	7.71	1.59
BGP 292	1	38.88	42.46	39.84	42.08	4.89	32.78	7.52	15.01	10.71	2.82	4.77	6.06	8.99	1.90
BGP 292	2	37.23	40.48	38.73	36.88	3.99	32.50	7.02	14.51	9.65	3.31	4.48	7.70	8.29	2.62
BGP 293	1	23.79	34.62	32.90	22.63	3.49	27.64	4.23	10.47	4.72	1.35	2.74	4.46	4.01	1.12
BGP 293	2	25.00	35.46	36.27	25.75	3.13	29.20	4.62	10.56	5.05	1.64	3.31	4.90	4.42	1.31
BGP 296	1	70.56	50.72	47.97	69.67	4.26	42.19	14.80	34.96	10.34	2.39	9.93	18.36	8.59	1.83
BGP 296	2	53.51	47.13	44.05	56.25	3.81	39.50	10.25	22.15	10.69	3.67	7.23	10.46	8.87	2.78
BGP 297	1	48.14	44.12	41.09	47.00	4.51	35.10	11.05	21.65	9.36	1.85	6.64	10.33	7.70	1.38
BGP 297	2	43.11	42.05	40.02	38.50	4.22	33.60	13.04	15.73	7.41	1.51	6.90	4.08	6.08	1.18
BGP 300	1	45.45	44.26	43.25	47.56	4.14	36.53	9.95	20.37	9.36	2.81	5.81	7.87	7.77	2.09
BGP 300	2	39.34	42.27	41.74	41.88	3.96	34.96	8.44	17.20	8.64	2.69	5.15	6.35	7.20	2.02
BGP 301	1	18.52	31.60	30.42	19.00	3.58	24.43	3.13	7.78	4.69	1.16	1.87	3.97	4.06	1.00
BGP 301	2	19.18	33.01	32.12	21.33	3.44	26.65	3.75	9.02	5.12	1.39	2.47	4.68	4.41	1.22
BGP 302	1	29.18	38.07	35.80	30.13	3.75	30.56	5.65	12.69	6.60	2.48	3.94	7.20	5.66	1.63
BGP 302	2	26.19	36.80	34.76	28.25	3.97	28.85	3.97	11.44	7.19	2.00	2.56	6.23	6.12	1.67

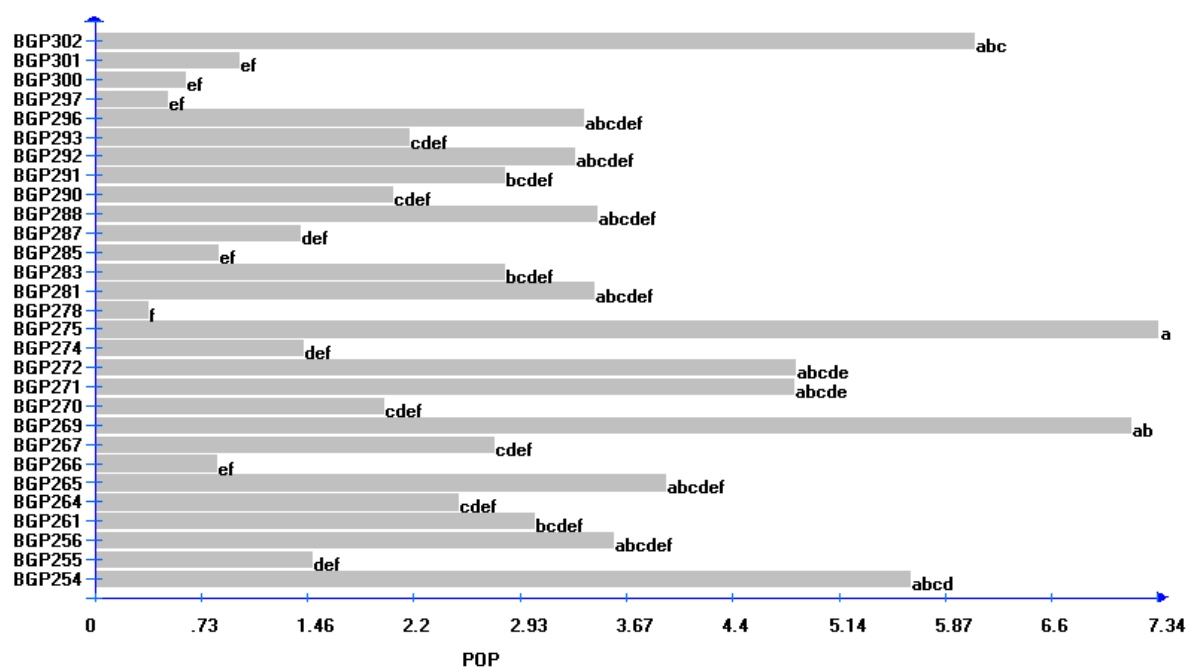


**Figura suplementar 1-** Índice de massa processável (IMP) de 29 acessos de Acrocomia. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

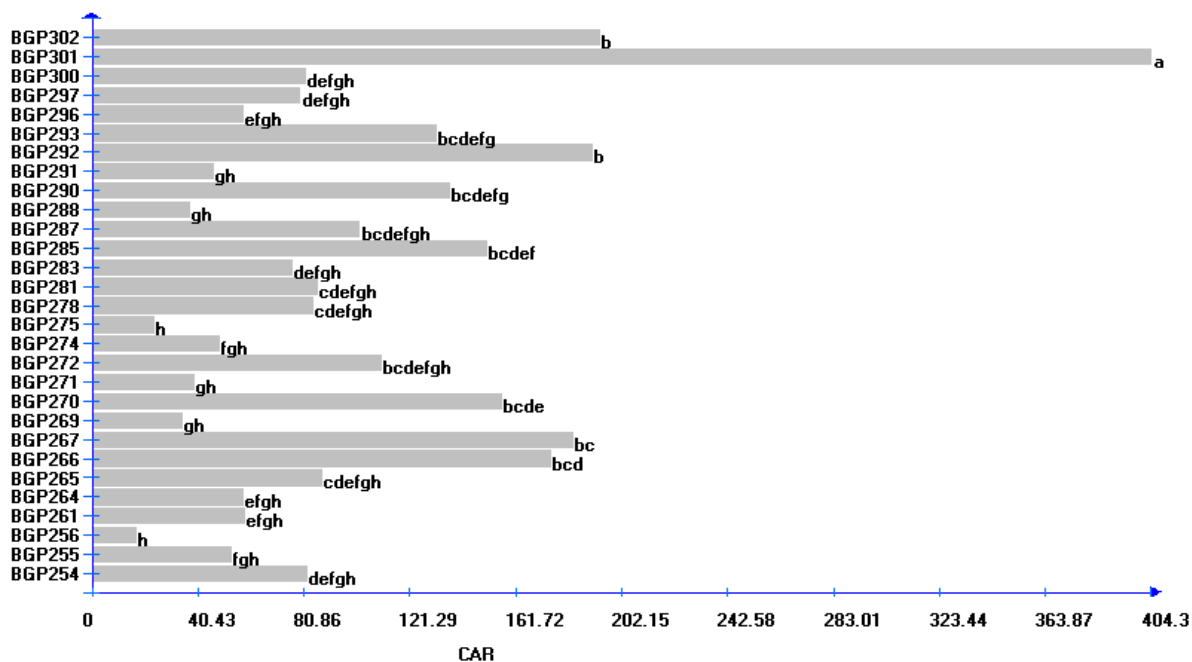
## MATERIAL SUPLEMENTAR – CAPÍTULO 4



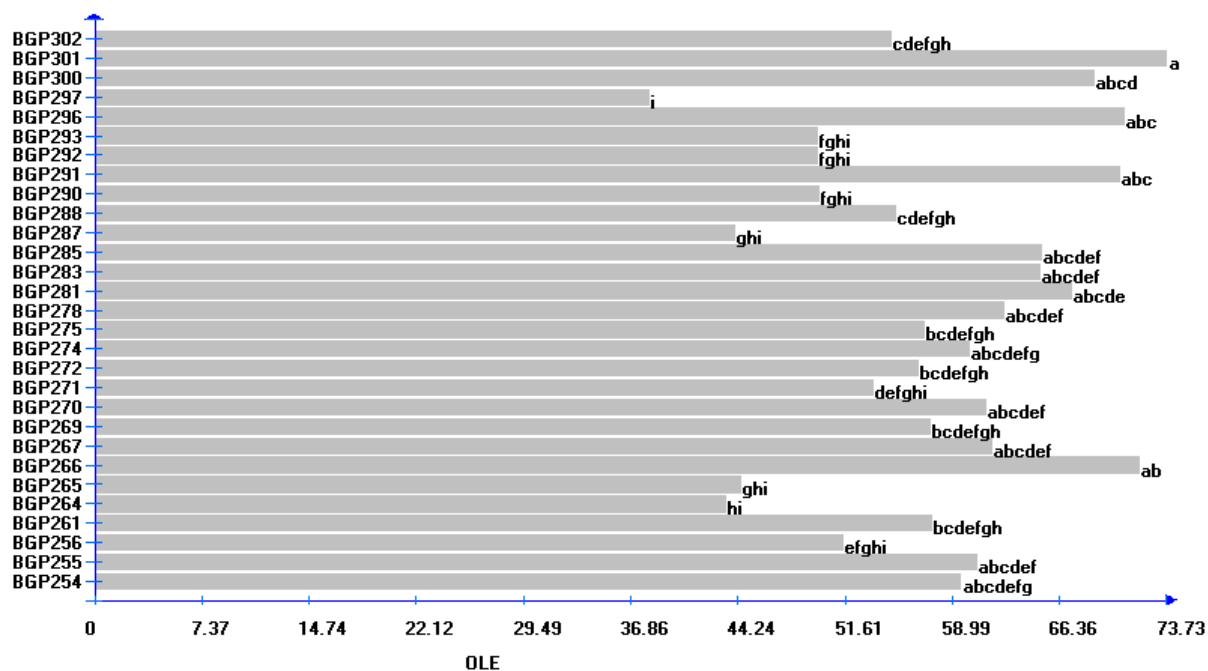
**Figura suplementar 1-** Teor de óleo na polpa em porcentagem (TOP) de 29 acessos de macaúba. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.



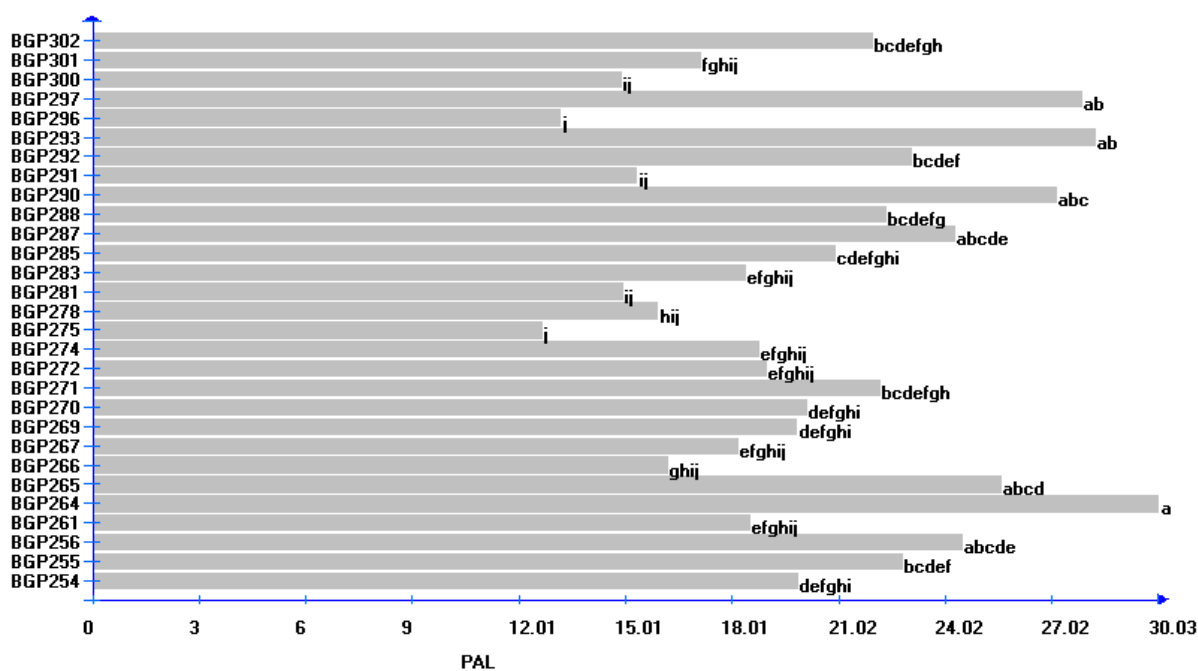
**Figura suplementar 2-** Produção de óleo por planta em kg (POP) de 29 acessos de macaúba. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.



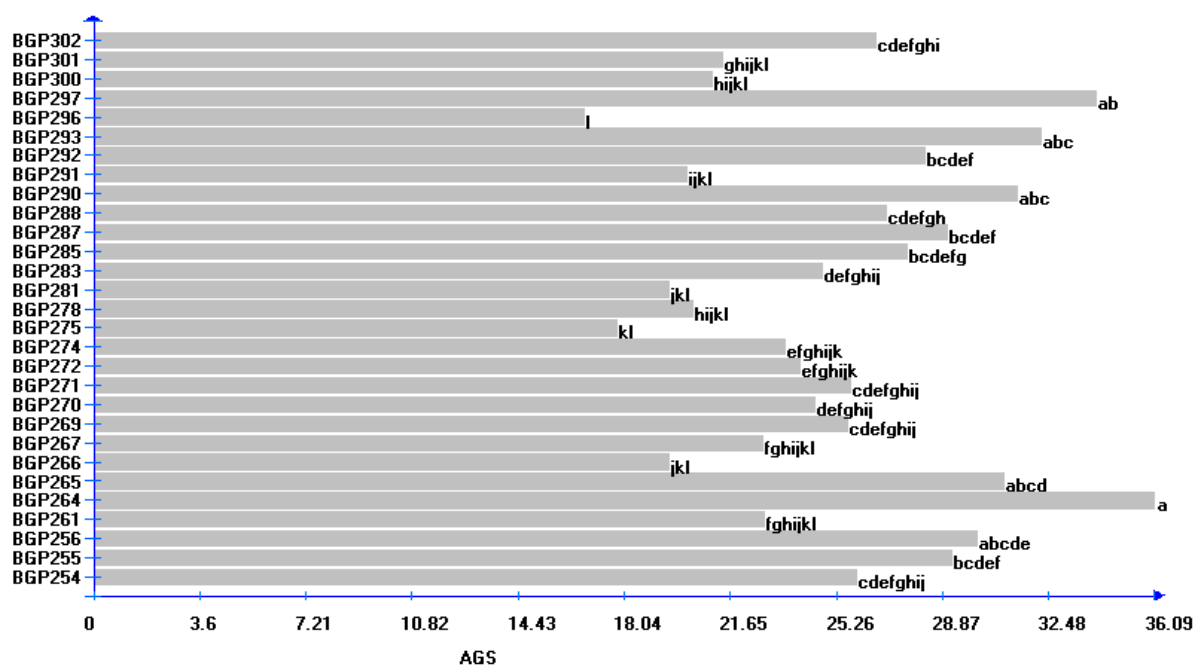
**Figura suplementar 3-** Carotenoides totais em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (CAR) de 29 acessos de macaúba. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.



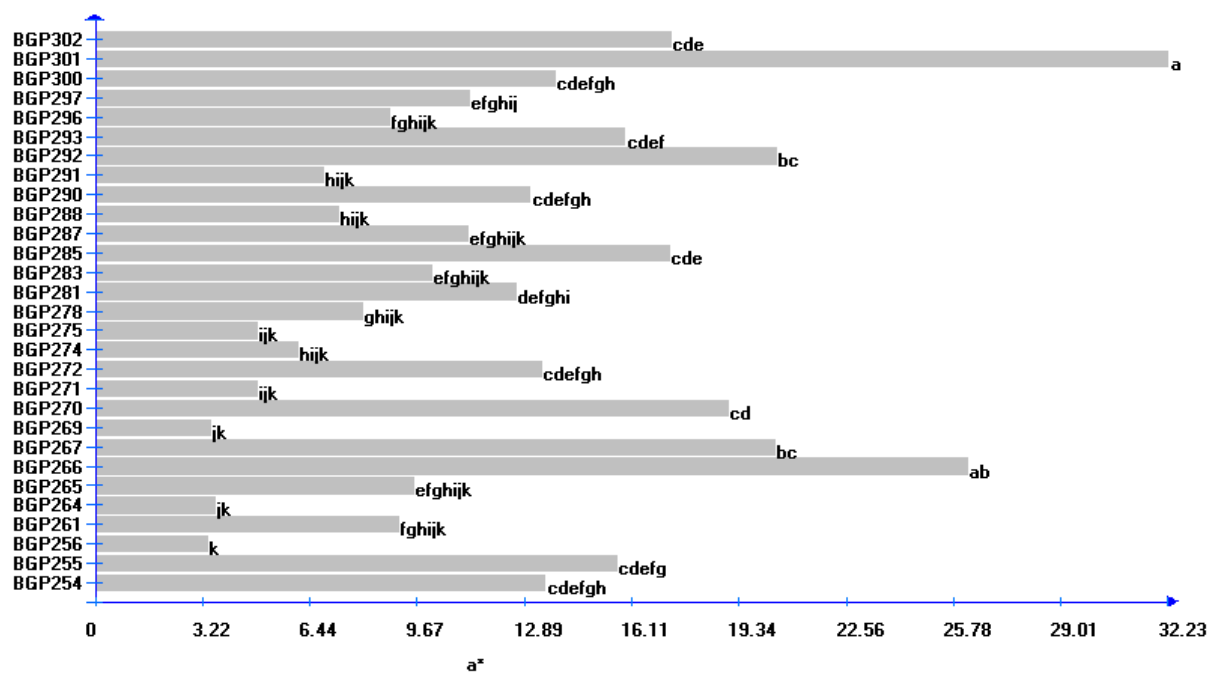
**Figura suplementar 4 -** Ácido graxo oleico em porcentagem (OLE) de 29 acessos de macaúba. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.



**Figura suplementar 5** - Ácido graxo palmítico em porcentagem (PAL) de 29 acessos de macaúba. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.



**Figura suplementar 6** – Ácidos graxos saturados em porcentagem (AGS) de 29 acessos de macaúba. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.



**Figura suplementar 7** - Parâmetro de cor vermelho ( $a^*$ ) de 29 acessos de macaúba. Barras de médias com a mesma letra minúscula entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.