

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Patrícia Nery Silva Souza

Diversidade morfoagronômica e ganhos de seleção em *Butia capitata* por abordagem multivariada e modelos mistos

Montes Claros

2022

Patrícia Nery Silva Souza

Diversidade morfoagronômica e ganhos de seleção em *Butia capitata* por abordagem multivariada e modelos mistos

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

Orientador: Paulo Sérgio Nascimento Lopes

Coorientadores: Alciney Místico Azevedo e
Sílvia Nietsche

Montes Claros

Fevereiro 2022

Souza, Patrícia Nery Silva.

S729d
2022

Diversidade morfoagronômica e ganhos de seleção em *Butia capitata* por abordagem multivariada e modelos mistos [manuscrito] / Patrícia Nery Silva Souza. Montes Claros, 2022.
54 f.: il.

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

Orientador: Paulo Sérgio Nascimento Lopes

Banca examinadora: Alcinei Místico Azevedo, Guilherme Mendes de Almeida Carvalho, Hêlida Mara Magalhães, Lázaro José Chaves, Samy Pimenta.

Inclui referências: f. 16-20; 37-38; 50-54

1. Palmeira --Teses. 2. Butiá --Teses. 3. Melhoramento genético. 4. Modelos multiníveis (Estatísticas) --Teses. 5. Análise de variância --Teses. I. Lopes, Paulo Sérgio Nascimento. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 575

ATA DE DEFESA DE TESE

Aos 23 dias do mês de fevereiro de 2022, às 14:00 horas, sob a Presidência do Professor Paulo Sérgio Nascimento Lopes, D. Sc. (Orientador – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Alcinei Místico Azevedo, D. Sc. (Coorientador – UFMG/ICA), Guilherme Mendes de Almeida Carvalho, D. Sc. (IFNMG), Helida Mara Magalhães, D. Sc. (Unipar), Lázaro José Chaves, D. Sc. (UFG) e Samy Pimenta, D. SC. (Unimontes), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de tese de **Patricia Nery Silva Souza**, aluna do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de tese intitulada: **Diversidade morfoagronômica e ganhos de seleção em *Butia capitata* por abordagem multivariada e modelos mistos**, sendo a aluna considerada (aprovada/reprovada) Aprovada. E, para constar, eu, Professor Paulo Sérgio Nascimento Lopes, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

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

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

Montes Claros, 23 de fevereiro de 2022.



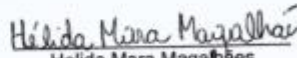
Paulo Sérgio Nascimento Lopes
 Orientador



Alcinei Místico Azevedo
 Coorientador



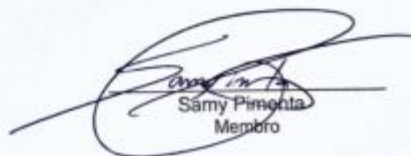
Guilherme M. de Almeida Carvalho
 Membro



Helida Mara Magalhães
 Membro

Documento assinado digitalmente
 LAZARO JOSE CHAVES
 Data: 25/02/2022 12:58:54-0300
 Verifique em <https://verificador.ica.br>

Lázaro José Chaves
 Membro



Samy Pimenta
 Membro

Aos meus filhos.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que guiou meus passos e me deu a sabedoria necessária para realizar este trabalho. Aos meus familiares que me apoiaram e me ajudaram a organizar minha vida pessoal para encaixar um doutorado. Ao meu marido Manoel, por ser meu braço direito em tudo, e ao meu filho mais velho Patrick, que estiveram comigo no campo ou no laboratório durante todo o tempo em que, devido à pandemia do coronavírus, o contato com outras pessoas não era possível;

Ao IFNMG que possibilitou meu afastamento para qualificação e a minha amiga Lara que me deu todo o apoio pessoal e oficial para que isso se concretizasse. Aos demais amigos e colegas do IFNMG que me apoiaram e que se viram um pouco mais sobrecarregados devido ao meu afastamento;

À UFMG, na pessoa do meu orientador, o prof. Paulo Sergio, que me apoiou, me ensinou, me orientou durante todo o doutorado. Obrigada por manter sempre a porta do diálogo aberta e por sempre me escutar e apoiar. Ao prof. Alcinei, que torna a estatística tão leve e interessante, por me ensinar tanto e por estar sempre à disposição para o trabalho. À prof. Sílvia Nietzsche por me dar um norte para seguir. A todos os membros do Gefen, Grupo de estudos em fruteiras exóticas e nativas, que me ajudaram no trabalho de campo, principalmente ao Fábio que abraçou o trabalho com muita dedicação e companheirismo. Aos amigos que fiz e a todos os servidos, efetivos ou tercerizados da UFMG que contribuíram para esse trabalho. A todos que, de alguma forma, me ajudaram, minha gratidão!

Por fim, agradeço às empresas de fomento Capes, CNPq e Fapemig, pois não é possível fazer pesquisa sem investimento.

Obrigada!

Diversidade morfoagronômica e ganhos de seleção em *Butia capitata* por abordagem multivariada e modelos mistos

RESUMO GERAL

Butia capitata (Mart.) Becc., conhecida como coquinho azedo, butiá azedo, possui elevado valor nutricional e múltiplos usos. Entretanto, a oferta é feita exclusivamente pelo extrativismo. A domesticação da espécie é insipiente demandando estratégias acuradas de seleção para obter genótipos superiores. Assim, objetivou-se avaliar a divergência genética, estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos de caracteres morfoagronômicos em progênies de *B. capitata* utilizando diferentes abordagens multivariadas e modelos mistos. Dezoito progênies de meios-irmãos foram avaliadas, no delineamento em blocos casualizados, três repetições e três plantas por parcela, espaçadas em 5 x 3 m. Entre junho de 2019 e maio de 2021, 56 características morfoagronômicas foram utilizadas na avaliação da diversidade. Foi utilizada como medida de dissimilaridade a distância de Mahalanobis e como abordagens multivariadas a análise de variáveis canônicas e a análise de agrupamento hierárquico. A metodologia de modelos mistos foi utilizada para estimar parâmetros genéticos considerando caracteres morfoagronômicos quantitativos. A primeira e a segunda variáveis canônicas responderam por 71,85% da variação total. As características razão do comprimento e largura das folhas, do comprimento e largura dos frutos, o comprimento da folha, o número de cachos, o sabor e a cor do epicarpo do fruto foram as que mais contribuíram para explicar a variação entre os indivíduos. Essa análise permitiu destacar a divergência entre as progênies. A herdabilidade e o coeficiente de variação genética indicaram a possibilidade de seleção bem-sucedida de genótipos promissores. As características produtivas apresentaram correlação positiva com altura da planta e comprimento da folha. Foram selecionadas progênies que devem ser priorizadas na escolha de genitores em um novo ciclo de seleção.

Palavras-chave: Arecaceae, coquinho azedo, melhoramento genético, REML/BLUP, variáveis canônicas.

Morphoagronomic diversity and selection gains in *Butia capitata* using multivariate approach and mixed models

ABSTRACT

Butia capitata (Mart.) Becc., known as *coquinho azedo*, butiá azedo, has high nutritional value and multiple uses. However, the offer is made exclusively by extractivism. The domestication of the species is incipient, demanding accurate selection strategies to obtain superior genotypes. Thus, the objective was to evaluate genetic divergence, estimate genetic parameters and predict genetic values of morphoagronomic characters in progenies of *B. capitata* using different multivariate approaches and mixed models. Eighteen half-sib progenies were evaluated, in a randomized block design, with three replications and three plants per plot, spaced at 5 x 3 m. Between June 2019 and May 2021, 56 morphoagronomic traits were used in the diversity assessment. The Mahalanobis distance dissimilarity measure was used and the canonical variables analysis and hierarchical cluster analysis were used as multivariate approaches. The mixed models methodology was used to estimate genetic parameters considering quantitative morphoagronomic characters. The first and second canonical variables accounted for 71.85% of the total variation. The characteristics ratio of the length and width of the leaves, the length and width of the fruits, the leaf length, the number of bunches, the flavor and the color of the fruit were the ones that contributed the most to explain the variation between individuals. This analysis made it possible to highlight the divergence between the progenies. Heritability and coefficient of genetic variation indicated the possibility of successful selection of promising genotypes. Yield characteristics showed a positive correlation with plant height and leaf length. Progenies were selected that should be prioritized when choosing parents in a new selection cycle.

Keywords: Arecaceae, coquinho azedo, genetic improvement, REML/BLUP, canonical variables.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos Específicos	11
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1	Importância social, econômica e ecológica de <i>Butia</i>	12
3.2	O gênero <i>Butia</i>	12
3.3	A espécie <i>B. capitata</i>	13
3.4	Melhoramento genético em palmáceas	14
3.5	Diversidade e estimativa de parâmetros genéticos	15
3.6	Referências Bibliográficas.....	16
4	ARTIGO 1 – VARIABILIDADE MORFOAGRONÔMICA DE GERMOPLASMA DE <i>BUTIA CAPITATA</i> (MART.) BECC., POR ABORDAGENS MULTIVARIADAS	21
4.1	INTRODUÇÃO	22
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.2.1	Localização e caracterização da área experimental.....	23
4.2.2	Avaliações morfológicas	23
4.2.3	Análise estatística	24
4.3	RESULTADOS	28
4.4	DISCUSSÃO	35
4.5	CONCLUSÕES	36
4.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
5	ARTIGO 2 – ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE <i>BUTIA CAPITATA</i>	39
5.1	INTRODUÇÃO	40
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
5.2.1	Localização e caracterização da área experimental.....	41
5.2.2	Características avaliadas	41
5.2.3	Análises genético-estatísticas.....	41
5.3	RESULTADOS	42
5.3.1	Estimativas dos parâmetros genéticos	42
5.3.2	Correlação e Ganhos de Seleção	43
5.4	DISCUSSÃO	48
5.5	CONCLUSÕES	50
5.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1 INTRODUÇÃO GERAL

Butia capitata (Mart.) Becc., conhecida como coquinho azedo, côco cabeçudo, butiá azedo, é uma palmeira nativa do Cerrado e ocorre nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais (HEIDEN; ELLERT-PEREIRA; ESLABÃO, 2020). Seus frutos são utilizados no consumo *in natura* e na fabricação de sucos, sorvetes, picolés e óleos. A polpa, se comparada com outras frutas normalmente consumidas, apresenta elevado teor de óleo, de fibra dietética, de pró-vitamina A, de vitamina C, de compostos fenólicos (catequina, ácido tânico) e de potássio (AGUIAR *et al.*, 2014; VIEIRA *et al.*, 2016). As plantas do gênero são usadas como ornamentais em diversos países, compondo a arborização de jardins e praças.

B. capitata é monoica e apresenta dicogamia do tipo protandria, antese das flores masculinas antes da maturação das flores femininas. Isso favorece a polinização xenogâmica na espécie, pela falta de sincronia entre as fenofases masculinas e femininas na mesma planta, sendo necessários vários indivíduos para que ocorra a polinização (MERCADANTE-SIMÕES *et al.*, 2006). A demanda por seus frutos tem aumentado ao longo do tempo e provocado intenso extrativismo, que, associado à expansão agrícola no Cerrado, colocam a espécie na categoria de vulnerável à extinção (CNCFLORA, 2012; SILVA; SCARIOT, 2013).

Embora com grande potencial de cultivo, *B. capitata* é uma espécie ainda não domesticada. A avaliação da diversidade genética existente é essencial para a escolha de estratégias de conservação e o estabelecimento de programas de melhoramento. Para obtenção desta diversidade, as análises de variáveis canônicas e de métodos de agrupamento hierárquico são essenciais. Ambas as técnicas são utilizadas em palmeiras (MANFIO *et al.*, 2012; RIBEIRO *et al.*, 1999; SOBRAL *et al.*, 2018, 2019; SOUSA; OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2017). Estas análises permitem utilizar variáveis quantitativas (ex. altura da planta, massa do fruto e dias para o florescimento) e qualitativas (ex. cor e formato de fruto, presença ou ausência de uma característica e marcador molecular), tanto isoladamente quanto em conjunto (ANDRADE *et al.*, 2017; CORTES *et al.*, 2017; DOMICIANO *et al.*, 2015; EL KADRI; MIMOUN; HORMAZA, 2019).

A estimativa de parâmetros genéticos, o conhecimento do controle genético das características de interesse e a previsão de possíveis ganhos em genótipos candidatos à seleção, são etapas essenciais para a definição de estratégias de melhoramento mais eficientes (RESENDE, 2015). Estudos com progênies de meios-irmãos possibilitam avaliar o potencial dos pais por meio da avaliação agrônômica de seus respectivos filhos. Além disso, os testes de progênie permitem estimar parâmetros populacionais, como herdabilidade e variâncias genéticas e têm sido utilizados na estimação de parâmetros genéticos e seleção de indivíduos superiores em palmáceas (BERGO *et al.*, 2019; DOMICIANO *et al.*, 2015; FARIAS NETO; CLEMENT; RESENDE, 2013).

Modelos lineares mistos são usualmente utilizados no melhoramento genético de plantas perenes, para estimar parâmetros e prever valores genéticos, especialmente com as metodologias REML/BLUP, *Maximum Restricted Likelihood/ Best Linear Unbiased Prediction* (Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Predição Linear Sem Vieses). Essa abordagem permite a predição acurada e não viesada dos valores genéticos, mesmo sob desbalanceamento. Além disso, possibilita o uso simultâneo das informações do indivíduo e da família, bem como proporciona estimativas mais precisas dos componentes da variação genética e dos valores genéticos individuais (BERGO *et al.*, 2019; CARVALHO

et al., 2020; LUSTRI *et al.*, 2021; RESENDE, 2007).

Na seleção simultânea, os índices permitem a obtenção de ganhos mais equilibrados nos estudos que utilizam várias características. O índice de seleção simultânea de Mulamba e Mock proporciona atribuir massas ou “ranks” aos genótipos, de acordo com o interesse do melhorista, visando aumentar ou diminuir a expressão fenotípica (MULAMBA; MOCK, 1978; TEIXEIRA *et al.*, 2012).

Uma coleção de germoplasma de *B. capitata* está estabelecida no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG) em Montes Claros, MG, Brasil. Frutos originários de polinização livre em 18 plantas selecionadas nos municípios de Bonito de Minas (15°43'34"S; 44°69'25"W), Mirabela (16°26'61"S; 44°19'33"W) e Montes Claros (16°68'20"S; 43°83'96"W), no Norte de Minas foram coletados. Em novembro de 2014, foi feito o plantio das progênies no campo, em blocos ao acaso, com três repetições e três plantas por parcela, espaçados em 5m (entre linhas) x 3m (dentro das linhas). As matrizes foram nomeadas de acordo com o município de origem em: BO151, BO171, BO476, BO477, BO478, BO479, BO480, ICA44, ICA51, ICA74, ICA81, ICA83, ICA84, ICA92, MI474, MIDO, MIGR, MIRO. A caracterização da diversidade dessa população, bem como a estimativa de parâmetros genéticos possibilitará selecionar genótipos superiores para as características de interesse e contribuirá para o programa de melhoramento genético da espécie.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a divergência genética e selecionar progênies de *B. capitata* como candidatas ao programa de melhoramento, utilizando diferentes abordagens multivariadas e modelos mistos.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a diversidade genética entre as progênies de meios-irmãos no banco de germoplasma de *B. capitata*;
- Determinar as características morfoagronômicas que mais contribuem para a diversidade genética;
- Estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos de características morfoagronômicas em progênies de polinização aberta;
- Selecionar de forma simultânea, tanto para produção de frutos quanto vigor da planta, genitores para compor o programa de melhoramento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância social, econômica e ecológica de *Butia*

Butia capitata (Mart.) Becc., conhecida como Coquinho azedo, Butiá, Butiá-azedo, Butiá-vinagre, Guariroba-do-campo, Butiá-de-praia, Butiá-açu, Macumá, Butiá-felpudo, Butiá-branco, Butiazeiro, Coqueiro-cabeçudo, Jerivá butiá, é endêmico no Cerrado, principalmente, nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais (LORENZI *et al.*, 2010). Seus frutos são utilizados no consumo *in natura* e na fabricação de sucos, sorvetes, picolés e óleos. A polpa, se comparada com outras frutas normalmente consumidas, apresenta elevado teor de óleo, de fibra dietética, de pró-vitamina A, de vitamina C, de compostos fenólicos (catequina, ácido tânico) e de potássio (AGUIAR *et al.*, 2014; FARIA *et al.*, 2008; HEIDEN; ELLERT-PEREIRA; ESLABÃO, 2020; MERCADANTE-SIMÕES *et al.*, 2006). As folhas possuem potencial para serem utilizadas no paisagismo.

Pelo seu elevado valor nutricional, múltiplos usos e a boa aceitação no mercado, o coquinho-azedo está entre as espécies nativas do Brasil de maior valor econômico e social. Entretanto, o aumento da demanda pelos seus frutos tem gerado forte pressão sobre a espécie, uma vez que a oferta é feita exclusivamente pelo extrativismo (SILVA; SCARIOT, 2013).

A atividade extrativista de *B. capitata* é caracterizada por baixa eficiência e exige grandes deslocamentos dos agricultores para a coleta dos frutos. Além disso, o extrativismo, associado a expansão da fronteira agrícola, pode gerar perdas de material genético, impedindo assim a reprodução natural da espécie (SÁ; SCARIOT; FERREIRA, 2018). Isso já tem sido constatado em *Butia odorata*, uma palmeira semelhante ao coquinho azedo, nativa do sul do Brasil e do Uruguai (LORENZI *et al.*, 2010; RIVAS; BARILANI, 2004). Nessa espécie, tais atividades impediram a renovação natural das populações silvestres, bem como a redução da produtividade das plantas remanescentes ao longo do tempo (RIVAS; BARILANI, 2004). Em função do elevado risco dessas atividades antrópicas, atualmente, a *B. capitata* está classificada como espécie na categoria de vulnerável à extinção (CNCFLORA, 2012). Desta forma, a possibilidade da perda de plantas com frutos de alto valor nutricional e econômico, aliado à preocupação com a conservação da espécie, justificam uma exploração mais racional.

3.2 O gênero *Butia*

Em Arecaceae, a classificação é baseada principalmente na morfologia dos estipes, folhas, flores, frutos e particularidades anatômicas dos órgãos, diferenças citológicas e histológicas, além da distribuição geográfica e estudos evolutivos (HENDERSON; GALEANO; BERNAL, 1995; LORENZI *et al.*, 2010; SOARES, 2015). O gênero *Butia* Becc., pertence a ordem Arecales, família Arecaceae (Palmae), subfamília Arecoideae, tribo Cocoeae, subtribo Buttinae ((LORENZI *et al.*, 2010). Compreende cerca de 20 espécies na América do Sul (HEIDEN; ELLERT-PEREIRA; ESLABÃO, 2020) e, baseado em sete genes nucleares, é um gênero monofilético bem definido (MEEROW *et al.*, 2009).

O nome *Butia* foi usado pela primeira vez como um subgênero de *Cocos* L. Em 1916, foi modificada sua categoria taxonômica de gênero reconhecendo sete espécies com base nas seguintes características principais: estipe marcado com bases de folhas caídas ou cicatrizes após a queda;

margem armada de pseudo-pecíolos; folhas longas, estreitas, acuminadas; peduncular. Bráctea (espata) glabra ou tomentosa, com superfície lisa ou levemente canelada; inflorescência com ramificação simples; raquis secundários longos com tríades de flores na parte basal (uma pistilada e duas estaminadas) e no restante predominam flores estaminadas; frutos globulares, ovais ou cônicos, com perianto persistente, exocarpo delgado e mesocarpo fibroso-mucilaginoso, acidulado; endocarpo ósseo, globular, oval ou elíptico, com superfície lisa, contendo até três loci separados, cada um com uma semente; sementes com endosperma homogêneo e oleoso, com embrião muitas vezes no meio ou próxima ao centro do endocarpo (BECCARI, 1916).

Em um estudo sobre a flora de palmeiras do Brasil, (NOBLICK, 2010) reconhece 18 espécies em *Butia*, sendo 16 originárias do Brasil. Atualmente 20 espécies são reconhecidas, sendo elas: *Butia archeri* (Glassman) Glassman; *B. arenicola* (Barb.Rodr.) Burret; *B. campicola* (Barb.Rodr.) Noblick; *B. capitata* (Mart.) Becc.; *B. catarinensis* Noblick & Lorenzi; *B. eriospatha* (Mart. ex Drude) Becc.; *B. exilata* Deble & Marchiori; *B. exospadix* Noblick; *B. lallemantii* Deble & Marchiori; *B. lepidotispatha* Noblick & Lorenzi; *B. leptospatha* (Burret) Noblick; *B. marmorii* Noblick; *B. matogrossensis* Noblick & Lorenzi; *B. microspadix* Burret; *B. odorata* (Barb.Rodr.) Noblick; *B. paraguayensis* (Barb.Rodr.) Bailey; *B. pubispatha* Noblick & Lorenzi; *B. purpurascens* Glassman; *B. witeckii* K. Soares & S. Longhi; *B. yatay* (Mart.) Becc (HEIDEN; ELLERT-PEREIRA; ESLABÃO, 2020).

Entre as espécies com problemas de identificação recorrentes, destaca-se *Butia capitata* (Mart.) Becc. Esse nome foi aplicado erroneamente a populações de *B. catarinensis* do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e *B. odorata* do Rio Grande do Sul e Uruguai. Após a revisão taxonômica do gênero (LORENZI *et al.*, 2010), uma espécie de ocorrência no Rio Grande do Sul foi renomeada de *B. odorata*, enquanto *B. capitata* passou a incluir apenas a espécie que ocorre no bioma Cerrado. A espécie do Sul possui frutos geralmente mais largos e estipe robusto (SOARES, 2015).

3.3 A espécie *B. capitata*

B. capitata possui caule do tipo estipe, solitário, ereto ou inclinado, que pode atingir até quatro metros de altura, resistente, medula central (esponjosa), circundado por anel de proteção, fibroso, resistente, aderido ao tecido vascular, constituído pelo xilema e pelo floema, sem taxa de câmbio. Suas folhas são pinadas e arqueadas de cor verde-acinzentada com margens dentadas providas de fibras achatadas, distribuídas no topo do caule em forma de espiral, com folíolos longos, estreitos, lanceolados e alternados dispostos de forma ascendente formando um "v" em corte transversal. Bainha e pecíolo são indistintos (LORENZI *et al.*, 2010; SOARES, 2015).

A espécie apresenta ramo florífero constituído por uma espata lenhosa que protege a inflorescência. Esta é formada por um pedúnculo, um eixo central denominado ráquis e ramificações laterais denominadas ráquias (HENDERSON; GALEANO; BERNAL, 1995). As flores geralmente são creme, amarelo ou verde amarelado (SOARES, 2015). Os frutos são ovais, oblongos ou arredondados, comestíveis, formados por epicarpo amarelado, avermelhado ou arroxeado, mesocarpo carnoso e fibroso e endocarpo duro e denso com três poros germinativos (MOURA *et al.*, 2010; SILVA; SCARIOT, 2013; SOARES, 2015).

É monoica e apresenta dicogamia do tipo protandria, antese das flores masculinas antes da

maturação das flores femininas. Isso favorece a polinização xenogâmica na espécie, pela falta de sincronia entre as fenofases masculinas e femininas na mesma planta, sendo necessários vários indivíduos para que ocorra a polinização (MERCADANTE-SIMÕES *et al.*, 2006). As flores apresentam estigma receptivo durante todo o período de abertura da flor, com maior intensidade entre o terceiro e quarto dia (DIAS, 2018). Conhecer o comportamento de *B. capitata* sob cultivo poderá subsidiar um manejo adequado da cultura e favorecerá seu melhoramento genético.

3.4 Melhoramento genético em palmáceas

A seleção fenotípica tem sido indicada como método inicial de melhoramento em palmeiras, o qual tem apresentado resultados altamente promissores. Este método tem sido aplicado no melhoramento do dendezeiro (BARCELOS; AMBLARD, 1992), do coqueiro (RIBEIRO *et al.*, 1999), da pupunheira (FARIAS NETO; CLEMENT; RESENDE, 2013) e do açaí (OLIVEIRA; FERREIRA; SANTOS, 2007), principais espécies de palmeiras cultivadas no mundo.

O melhoramento do dendê é o que possui maior quantidade de registros na literatura, começou com seleção massal na década de 1920 (CORLEY; TINKER, 2015). Nas décadas de 1950 e 1960, a seleção massal foi substituída por esquemas mais eficientes, principalmente de seleção recorrente recíproca modificada (MRRS), levando a um híbrido interpopulacional (CORLEY; TINKER, 2015; SOH; MAYES; ROBERTS, 2017). Já o coqueiro (*Cocos nucifera*) cultivado atualmente, derivou-se principalmente por seleção massal de progênies de polinização aberta ou híbridos entre as seleções. A hibridação intervartietal mostrou os maiores ganhos no melhoramento do coco, demonstrando a utilidade da heterose (NAIR, 2021).

Nas últimas décadas foi notável a expansão do mercado de frutos do Açaí (*Euterpe oleraceae*). A Embrapa Amazônia Oriental criou o primeiro programa de melhoramento de açaizeiro para frutos em meados da década de 90, e dispõe de um banco de germoplasma formado por acessos de diferentes procedências. Esse programa lançou a primeira cultivar em 2004. A seleção massal foi utilizada no processo de melhoramento para produção de frutos (OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2008). Os acessos instalados em Belém vêm sendo caracterizados e avaliados para caracteres morfoagronômicos relacionados à produção de frutos e palmito (OLIVEIRA; FERREIRA; SANTOS, 2007), além da quantificação da variabilidade genética por meio de marcadores moleculares RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) e SSR (Simple Sequence Repeats) (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Os estudos de diversidade genética com gênero *Butia* estão limitados à caracterização molecular, não sendo encontrados trabalhos que avaliam a diversidade fenotípica. Usando RAPD, grande diversidade genética entre 22 genótipos de *Butia odorata* foi determinada (NUNES *et al.*, 2008), e em *B. erispatha*, 90% de variabilidade genética foi dentro das populações e 10% entre três populações (GAVIÃO *et al.*, 2007). A diversidade genética de oito populações de *B. odorata* foi investigada utilizando marcadores AFLP e a variabilidade genética não variou entre as regiões geográficas avaliadas, com maior variação encontrada dentro das populações (BUTTOW *et al.*, 2010). Um estudo caracterizando *B. odorata*, *B. yatay*, *B. eriospatha* e *B. catarinensis* identificou bandas altamente polimórficas e alta diversidade morfológica utilizando ISSR (ROSSATO *et al.*, 2007). Já (GAIERO *et al.*, 2011) observaram alto nível de similaridade genética entre populações de *B. lallemantii*, com uma de *B. paraguayensis* e

três de *B. yatay* de diferentes localidades do Uruguai utilizando marcadores ISSR. Em *Butia capitata*, apenas um trabalho foi realizado e verificada alta diversidade genética em quatro populações no Norte de Minas utilizando marcadores ISSR (MAGALHÃES *et al.*, 2015).

3.5 Diversidade e estimativa de parâmetros genéticos

O estudo da divergência genética por meio de análises multivariadas permite considerar várias características simultaneamente na unidade experimental e fornece dados que subsidiam o planejamento de programas de melhoramento. A divergência genética pode ser estimada a partir de técnicas de dispersão gráfica ou métodos hierárquicos de agrupamento (BEDJAOUI; BENBOUZA, 2020; CARVALHO *et al.*, 2020; KHADIVI *et al.*, 2020). A escolha do método a ser utilizado depende da precisão desejada, da facilidade de análise e da forma de obtenção dos dados (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A diversidade genética tem sido quantificada por meio dos descritores morfoagronômicos em programas de melhoramento em palmeiras. Na macaúba (*Acrocomia aculeata*), palmeira nativa também do Cerrado, caracteres morfológicos, como comprimento da raquis, são utilizados para selecionar progênies superiores quanto à produtividade. Para outras palmeiras, como tamareira (*Phoenix dactylifera*) e açaí (*Euterpe oleracea*), a variabilidade é constatada tanto por características quantitativas quanto qualitativas, tornando-se fatores discriminantes importantes (ELSAFY; GARKAVA-GUSTAVSSON; MUJAJU, 2015; SOUSA; OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2017). Apesar de existirem descritores morfológicos registrados na literatura para *B. odorata* (MISTURA *et al.*, 2015), inexistem para o coquinho azedo, bem como trabalhos que quantificam a sua variabilidade genética a partir das características morfológicas qualitativas e quantitativas.

No melhoramento genético, a utilização de modelos mistos (efeitos fixos e aleatórios no mesmo modelo) é feita com dois objetivos, estimar os componentes de variância para o cálculo de parâmetros genéticos e prever valores genéticos (RESENDE, 2002). O conhecimento dos parâmetros genéticos como as estimativas de herdabilidade, coeficientes de variação genética entre outros, são importantes, pois auxiliam os melhoristas na tomada de decisões (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Dados coletados em experimentos de melhoramento de espécies perenes apresentam efeitos fixos e aleatórios no mesmo modelo e geralmente são desbalanceados em decorrência da mortalidade das plantas. Acrescenta-se também o fator de repetibilidade aos experimentos, isto é, medições repetidas em um mesmo indivíduo. Esses fatores se apresentam como empecilhos para a utilização da análise de variância (ANOVA) (RESENDE, 2015). Ao comparar a ANOVA com o REML/BLUP em *Bactris gasipaes*, os autores concluíram que o método REML/BLUP deve ser o preferido para a estimação e predição no melhoramento de plantas perenes (FARIAS NETO; RESENDE, 2001).

Pela versatilidade que o uso de modelos mistos REML/BLUP proporciona, o melhorista aumenta significativamente seu ferramental analítico. A análise REML/BLUP aumentou a precisão das estimativas de diversidade genética baseadas na morfologia, para a qualidade dos frutos em *Euterpe edulis* (CARVALHO *et al.*, 2020). Em *Physalis ixocarpa*, essa análise foi eficiente ao estimar variabilidade genética por meio das características produção de frutos, número de frutos por planta, hábito de crescimento e início da floração (ORELLANA *et al.*, 2021). Na palmeira *Acrocomia aculeata*, a

metodologia indica a possibilidade de seleção bem-sucedida de genótipos promissores utilizando características morfológicas (ROSADO *et al.*, 2019).

3.6 Referências Bibliográficas

AGUIAR, M. C. S. *et al.* Volatile compounds from fruits of *Butia capitata* at different stages of maturity and storage. **Food Research International**, 2014.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

ANDRADE, E. K. V. de *et al.* Genetic dissimilarity among sweet potato genotypes using morphological and molecular descriptors. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 4, p. 447, 11 ago. 2017.

AOAC. **Official methods of analysis**. 15. ed. Arlington: ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 1990.

BARCELOS, E.; AMBLARD, P. **Oil palm breeding program at EMBRAPA/BRASIL**. Manaus: Embrapa, 1992.

BECCARI, O. Il genere *Cocos* Linn. e le palme affini. **Agricoltura Coloniale**, v. 10, n. 2, p. 489–524, 1916.

BEDJAOUI, H.; BENBOUZA, H. Assessment of phenotypic diversity of local Algerian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, n. 1, p. 65–75, 1 jan. 2020.

BERGO, C. L. *et al.* Genetic parameters to production characters of palm heart in half-sibs progenies of palm peach. **Ciência Rural**, v. 49, n. 7, p. 7, 10 jul. 2019.

BORGES, C. V. *et al.* Seleção entre e dentro de progênies para a produção de frutos de pupunha. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 2, p. 177–184, 4 out. 2017.

BUTTOW, M. V. *et al.* Caracterização molecular de populações de *Butia capitata* (Arecaceae) do Sul do Brasil através de marcadores AFLP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 230–239, 29 jan. 2010.

CARVALHO, M. S. *et al.* Genetic diversity and population structure of *Euterpe edulis* by REML/BLUP analysis of fruit morphology and microsatellite markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 4, p. 1–9, 11 dez. 2020.

CNCFLORA. **Butia capitata in Lista Vermelha da flora brasileira**. Disponível em: [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Butia capitata](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Butia%20capitata). Acesso em: 19 nov. 2021.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. H. **The oil palm**. 5th ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2015.

CORTES, D. F. M. *et al.* Model-assisted phenotyping by digital images in papaya breeding program. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 4, p. 294–302, 1 jul. 2017.

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.

COVARRUBIAS-PAZARAN, G. Genome-Assisted Prediction of Quantitative Traits Using the R Package sommer. **Plos One**, v. 11, n. 6, p. e0156744, 1 jun. 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: Editora UFV, 2012.

CUNNINGHAM, S. A. The effect of light environment, leaf area, and stored carbohydrates on inflorescence production by a rain forest understory palm. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 36–44, jun. 1997.

DIAS, W. P. A. **Emissão de inflorescência, biologia reprodutiva e armazenamento de grãos de pólen em butia capitata (mart.) Becc sob condições de cultivo.** [s.l.]: UFMG, 2018.

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, 1 set. 2015.

EL KADRI, N.; MIMOUN, M. BEN; HORMAZA, J. I. Genetic diversity of Tunisian male date palm (*Phoenix dactylifera* L.) genotypes using morphological descriptors and molecular markers. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 24–34, 27 jul. 2019.

ELSAFY, M.; GARKAVA-GUSTAVSSON, L.; MUJAJU, C. Phenotypic Diversity of Date Palm Cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) from Sudan Estimated by Vegetative and Fruit Characteristics . **International Journal of Biodiversity**, v. 2015, p. 1–7, 30 dez. 2015.

EPSKAMP, S. et al. qgraph: Network Visualizations of Relationships in Psychometric Data. **Journal of Statistical Software**, v. 48, p. 1–18, 24 maio 2012.

FAJARDO, C. G. et al. Research Article Genetic and phenotypic association of the carnauba palm tree evaluated by inter-simple sequence repeat and biometric traits. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 3, 2018.

FARIA, J. P. et al. Caracterização da polpa do coquinho-azedo (*Butia capitata* var *capitata*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 827–829, 2008.

FARIAS NETO, J. T. DE; CLEMENT, C. R.; RESENDE, M. D. V. de. Estimativas de parâmetros genéticos e ganho de seleção para produção de frutos em progênies de polinização aberta de pupunheira no estado do Pará, Brasil. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 122–126, abr. 2013.

FARIAS NETO, J. T. DE; RESENDE, M. D. V. de. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 320–324, ago. 2001.

GAIERO, P. et al. Genetic diversity among endangered Uruguayan populations of *Butia* Becc. species based on ISSR. **Plant Systematics and Evolution**, v. 292, n. 1–2, p. 105–116, 1 mar. 2011.

GAVIÃO, C. et al. **Análise genética em populações de *Butia eriospatha* (Mart. ex Drude) Becc utilizando marcadores moleculares RAPD.** Brasília: Embrapa, 2007.

HEIDEN, G.; ELLERT-PEREIRA, P. E.; ESLABÃO, M. P. **Butia in Flora do Brasil 2020.** Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15704>. Acesso em: 28 dez. 2021.

HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **Field Guide to the Palms of the Americas.** Ewing, New Jersey, U.S.A: Princeton University Press, 1995.

KHADIVI, A. et al. Phenotypic and fruit characterizations of *Prunus divaricata* Ledeb. germplasm from the north of Iran. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 109033, 5 fev. 2020.

LORENZI, H. et al. **Flora Brasileira - ARECACEAE (Palmeiras).** 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010.

LUSTRI, E. A. et al. Estimates of genetic parameters for juvenile traits in macaw palm. **Bragantia**, v. 80, 3 maio 2021.

MAGALHÃES, H. M. et al. Genetic diversity of endangered populations of *Butia capitata*: Implications for conservation. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 11, p. 888–900, 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, 30 mar. 2012.
- MEEROW, A. W. *et al.* Phylogenetic Analysis of Seven WRKY Genes across the Palm Subtribe Attaleinae (Arecaceae) Identifies Syagrus as Sister Group of the Coconut. **PLoS ONE**, v. 4, n. 10, p. e7353, 6 out. 2009.
- MERCADANTE-SIMÕES, M. O. *et al.* Reproductive biology of *Butia Capitata* (Mart.) Beccari (Arecaceae) in a savanna area of the north of Minas Gerais, Brazil. **Unimontes Científica**, v. 8, n. 2, p. 144–149, 2006.
- MISTURA, C. C. *et al.* Descriptors for Butiá [*Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick]. p. 44, 2015.
- MOHAMMADI, R. *et al.* Morphological characterization of *Prunus microcarpa* Boiss. germplasm: Implications for conservation and breeding. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 718–725, fev. 2019.
- MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359–363, 1 abr. 1977.
- MORAES, L. A.; MACHADO, R. R. B.; ARAÚJO, M. DE F. V. O babaçu na zona urbana de Teresina – PI: distribuição e viabilidade paisagística. **Revista Equador**, v. 4, n. 4, p. 112–132, 16 dez. 2015.
- MOURA, R. C. *et al.* Biometria de frutos e sementes de *Butia capitata* (Mart.) Beccari (Arecaceae), em vegetação natural no Norte de Minas Gerais, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 2, p. 415–419, 2010.
- MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the ETO blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits [Mexico]. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, n. 1, p. 40–51, 1978.
- MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.
- NAIR, K. P. The Coconut Palm (*Cocos nucifera* L.). *In*: **Tree Crops**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 79–128.
- NIETSCHKE, S. *et al.* Variability in reproductive traits in *Jatropha curcas* L. accessions during early developmental stages under warm subtropical conditions. **GCB Bioenergy**, v. 7, n. 1, p. 122–134, 1 jan. 2015.
- NOBLICK, L. R. *Butia* (Becc.) Becc. *In*: **Flora Brasileira Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Plantarum, 2010. p. 159–183.
- NUNES, A. M. *et al.* Caracterização molecular de butiazeiro por marcadores RAPD. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 702–707, set. 2008.
- OLIVEIRA, M. DO S. P. de *et al.* Diversidade genética entre acessos de açazeiro baseada em marcadores RAPD. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1645–1653, dez. 2007.
- OLIVEIRA, M. DO S. P. DE; FARIAS NETO, J. T. de. Seleção massal em açazeiros para a produção de fruto. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 49, p. 145–156, 2008.
- OLIVEIRA, M. DO S. P. DE; FERREIRA, D. F.; SANTOS, J. B. dos. Divergência genética entre acessos de açazeiro fundamentada em descritores morfoagronômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 501–506, abr. 2007.
- OLIVEIRA, J. A. A. *et al.* Estimation of genetic parameters and selection for rooting capacity in peach. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 320–324, set. 2018.
- OLIVEIRA, M. D. S. P. *et al.* Correlações fenotípicas entre caracteres vegetativos e de produção de frutos em açazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 1, p. 1–5, 2000.

- OLIVEIRA, N. C. C. *et al.* Seed structure, germination, and reserve mobilization in *Butia capitata* (Arecaceae). **Trees** **2013** **27:6**, v. 27, n. 6, p. 1633–1645, 26 jul. 2013.
- ORELLANA, J. S. T. *et al.* Evaluation and selection in half-sib progenies of *Physalis ixocarpa* Brot. aiming to increase productivity. **Scientia Horticulturae**, v. 290, p. 110531, 15 dez. 2021.
- PIVETTA, K. F. L. *et al.* Conservation and use of palm trees in Brazil's landscaping. **Acta Horticulturae**, v. 881, p. 1031–1034, 25 nov. 2010.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2002.
- RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2007.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética Quantitativa e de Populações**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2015.
- RIBEIRO, F. E. *et al.* Divergência genética entre populações de coqueiro-gigante-do-Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 9, p. 1615–1622, 1999.
- RIVAS, M.; BARILANI, A. Diversidad, potencial productivo y reproductivo de Los Palmares de *Butia capitata* (Mart.) becc. de Uruguay. **Agrociencia**, v. 8, n. 1, p. 11–20, 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, 5 abr. 2019.
- ROSSATO, M. *et al.* Molecular characterization of palm populations of the butia genus from Rio Grande do Sul state using ISSR markers. **Magistra**, v. 19, n. 4, p. 311–318, 2007.
- SÁ, D.; SCARIOT, A.; FERREIRA, J. B. Effects of ecological and anthropogenic factors on population demography of the harvested *Butia capitata* palm in the Brazilian Cerrado. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1571–1588, 22 nov. 2018.
- SAMPAIO, M. B.; SCARIOT, A. Growth and reproduction of the understory palm *Geonoma schottiana* Mart. in the gallery forest in Central Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 31, n. 3, p. 433–442, 2008.
- SILVA, P. A. D.; SCARIOT, A. Phenology, biometric parameters and productivity of fruits of the palm *Butia capitata* (Mart.) Beccari in the Brazilian cerrado in the north of the state of Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 3, p. 580–589, jul. 2013.
- SINGH, D. The Relative Importance of Characters Affecting Genetic Divergence. **Indian Journals of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237–245, 1981.
- SOARES, K. P. Le genre *Butia*. **Princeps**, v. 1, 2015.
- SOBRAL, K. M. B. *et al.* Diversidade genética entre acessos de coqueiro-gigante. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 28–39, 2018.
- SOBRAL, K. M. B. *et al.* Há variabilidade genética em acessos de coqueiro-anão conservados no Brasil? **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 52–61, 9 maio 2019.
- SOH, A. C.; MAYES, S.; ROBERTS, J. A. **Oil palm breeding: genetics and genomics**. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- SOUSA, A. M. de; OLIVEIRA, M. do S. P. de; FARIAS NETO, J. T. de. Genetic divergence among white-type acai palm accessions based on morpho-agronomic characters. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 751–760, set. 2017.

SOUZA, A. P. R. **Desempenho agronomico do coquinho azedo em cinco safras**. Montes Claros: UFMG, 2016.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 0099, 23 abr. 2017.

TEIXEIRA, D. H. L. *et al.* Índices de seleção no aprimoramento simultâneo dos componentes da produção de frutos em açaizeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 237–243, 2012.

VIEIRA, B. M. *et al.* The synthesis and characterization of *Butia capitata* seed oil as a FAME feedstock. **Fuel**, v. 184, p. 533–535, 2016.

4 ARTIGO 1 – VARIABILIDADE MORFOAGRONÔMICA DE GERMOPLASMA DE *BUTIA CAPITATA* (MART.) BECC., POR ABORDAGENS MULTIVARIADAS

RESUMO

Butia capitata (Mart.) Becc. é uma palmeira endêmica do Cerrado brasileiro, que apresenta grande potencial econômico, ecológico e social. A presente investigação objetivou avaliar características morfoagronômicas de *B. capitata*. Entre junho de 2019 e maio de 2021 foram avaliadas 56 características morfoagronômicas de 18 progênies de meios-irmãos. O delineamento foi em blocos casualizados, com três repetições e três plantas por parcela, espaçadas em 5 x 3 m. Foram realizadas análises de variáveis canônicas e de agrupamento. A primeira e a segunda variáveis canônicas responderam por 71,85% da variação total. As características razão do comprimento e largura das folhas, do comprimento e largura dos frutos, o comprimento da folha, o número de cachos, o sabor e a cor do fruto foram as que mais contribuíram para explicar a variação entre os indivíduos. Na análise, o agrupamento houve a formação de diferentes grupos pelo UPGMA. Os resultados confirmam a efetividade dos caracteres morfológicos na caracterização do germoplasma de *B. capitata* bem como da combinação de métodos de análise de diversidade.

Palavras-chave: Arecaceae, distância de Mahalanobis, agrupamento, análise de variáveis canônicas, fenotípico.

Morphoagronomic variability of *Butia capitata* (Mart.) Becc. germplasm by multivariate approaches

ABSTRACT

Butia capitata (Mart.) Becc. is a palm endemic to the Brazilian Cerrado that has great economic, ecological and social potential. The present investigation aimed to evaluate morphoagronomic characteristics of *B. capitata*. Between June 2019 and May 2021, 56 morphoagronomic traits of 18 half-sib progenies were evaluated. The design was in randomized blocks, with three replications and three plants per plot, spaced at 5 x 3 m. Analysis of canonical and clustering variables were performed. The first and second canonical variables accounted for 71.85% of the total variation. The characteristics ratio of the length and width of the leaves, the length and width of the fruits, the leaf length, the number of bunches, the flavor and the color of the fruit were the ones that contributed the most to explain the variation between individuals. In the cluster analysis, different groups were formed by the UPGMA. The results confirm the effectiveness of morphological characters in the characterization of *B. capitata* germplasm as well as the combination of diversity analysis methods.

Keywords: Arecaceae, Mahalanobis distance, clustering, canonical variables analysis, phenotypic.

4.1 INTRODUÇÃO

O coquinho azedo (*Butia capitata*) é uma palmeira endêmica do Cerrado, ocorrendo na região central do Brasil (LORENZI *et al.*, 2010). Seus frutos são ricos em fibras, minerais, provitamina A e vitamina C, sendo utilizados em grande escala no consumo *in natura* e na fabricação de sucos, sorvetes, picolés e óleos (AGUIAR *et al.*, 2014; LORENZI *et al.*, 2010).

Em função dos frutos apresentarem elevado valor nutricional, múltiplos usos e, principalmente, boa aceitação no mercado, a *B. capitata* é considerada uma espécie nativa de grande valor econômico e social no Brasil. A demanda por seus frutos tem aumentado ao longo do tempo e provocado intenso extrativismo, que, associado à expansão agrícola no Cerrado, contribuíram para classificar a espécie na categoria de vulnerável à extinção (CNCFLORA, 2012; SILVA; SCARIOT, 2013). O estabelecimento da espécie em cultivo pode atenuar os efeitos das ações antrópicas sobre as populações naturais, assegurando maior produtividade e projetos de cultivo mais sustentáveis.

O conhecimento da diversidade genética em *B. capitata* é importante para desenvolver estratégias eficazes de conservação e manejo em coleções de germoplasma (KHADIVI *et al.*, 2020). As análises de variáveis canônicas e de métodos de agrupamento hierárquico são bastante utilizadas na caracterização da diversidade genética. Ambas as técnicas foram úteis e concordantes na avaliação de divergência genética do *Cocus nucifera* (coqueiro) (RIBEIRO *et al.*, 1999; SOBRAL *et al.*, 2018, 2019), sendo que a análise pelo método UPGMA (Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages) é a mais utilizada em palmeiras (MAGALHÃES *et al.*, 2015; MANFIO *et al.*, 2012; NUNES *et al.*, 2008; OLIVEIRA; FERREIRA; SANTOS, 2007; SOUSA; OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2017). Análises de agrupamento possibilitam utilizar variáveis quantitativas e qualitativas, tanto isoladamente, quanto em conjunto (ANDRADE *et al.*, 2017; CORTES *et al.*, 2017; DOMICIANO *et al.*, 2015; EL KADRI; MIMOUN; HORMAZA, 2019).

As características morfológicas têm sido amplamente utilizadas para a caracterização de espécies, famílias e gêneros. Caracteres que incluem a eficiência no uso da água e o comprimento da ráquis em *Acrocomia aculeata* (macaúba) (DOMICIANO *et al.*, 2015), a circunferência equatorial do fruto e da castanha, a quantidade de endosperma líquido, a massa do fruto e da castanha, a altura do caule e seu perímetro a 1,5 m do solo, o número de folhetos e cachos em *Cocos nucifera* (SOBRAL *et al.*, 2018), a massa de 100 frutos, o rendimento de frutos por cachos e o número de raquias por cacho em *Euterpe oleracea* (açai) (ELSAFY; GARKAVA-GUSTAVSSON; MUJAJU, 2015; SOUSA; OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2017) foram as que mais contribuíram para dissimilaridade das famílias avaliadas. Vários fatores estão envolvidos na determinação de quais características apresentam maior efeito discriminante, entre estes, principalmente, a espécie e as condições da população em estudo (OLIVEIRA; FERREIRA; SANTOS, 2007; SOBRAL *et al.*, 2018).

Para preservar o acervo genético atual e utilizá-lo criteriosamente, é necessário avaliar a extensão da diversidade pela distinção em *B. capitata*. Uma coleção de germoplasma de *B. capitata* está estabelecida no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, em Montes Claros – MG. A avaliação e caracterização de coleções de germoplasma têm aplicações estratégicas para melhoristas e pesquisas em melhoramento (NIETSCHÉ *et al.*, 2015). A caracterização da diversidade deste germoplasma, por meio de descritores morfoagronômicos, poderá contribuir para o programa de melhoramento genético da

espécie. Diante do exposto, o presente estudo objetivou caracterizar 18 progênies de meios-irmãos de *B. capitata*, através de caracteres morfoagronômicos, utilizando diferentes abordagens multivariadas, além de determinar a importância relativa dos caracteres testados.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido na Coleção de Germoplasma de *B. capitata* do ICA/UFMG, Montes Claros (16°68'20"S; 43°83'96"W). O Clima da região é tropical, classificado com Aw, com uma estação seca bem definida (ALVARES *et al.*, 2013). O solo é do tipo cambissolo, com textura média.

Frutos originários de polinização livre de 18 plantas selecionadas nos municípios de Bonito de Minas (15°43'34"S, 44°69'25"W), Mirabela (16°26'61"S, 44°19'33"W) e Montes Claros (16°68'20"S; 43°83'96"W), no Norte de Minas Gerais, foram coletados. As matrizes foram nomeadas de acordo com o município de origem em: BO151, BO171, BO476, BO477, BO478, BO479, BO480, ICA44, ICA51, ICA74, ICA81, ICA83, ICA84, ICA92, MI474, MIDO, MIGR, MIRO. As sementes originárias de cada matriz foram colocadas para germinar em laboratório, conforme metodologia de (OLIVEIRA *et al.*, 2013), e, em seguida, repicadas para sacolinha plástica para a formação da muda.

Em novembro de 2014, foi feito o plantio das progênies no campo, instalando o experimento em blocos ao acaso, com três repetições e três plantas por parcela, espaçados em 5 m (entre linhas) x 3 m (dentro das linhas). Os tratos culturais consistiram em aplicar uma lâmina d'água de quatro mm, a cada dois dias e capinas.

4.2.2 Avaliações morfológicas

Foram avaliados alguns dos descritores estabelecidos para a espécie *B. odorata* (MISTURA *et al.*, 2015), bem como outras características de interesse em cada indivíduo. Vinte e três descritores quantitativos e trinta e três qualitativos foram considerados em cada planta (TABELA 1).

Nos meses de junho de 2019 e maio de 2021 todas as plantas foram avaliadas quanto a circunferência do caule ao nível do solo (mm) e a altura de plantas até a inserção da folha flecha (mm). Os crescimentos em circunferência (SCIRC) e em altura (TRH) foram determinados por meio da diferença entre os anos avaliados. Além disso, durante esses dois anos foram avaliadas semanalmente as folhas emitidas (EMLE), marcando e identificando cada folha nova. Quando esta se tornava a 3ª folha, eram mensurados nesta, o comprimento (LEL) e diâmetro (LEW) médio, por meio de fita métrica.

Os cachos foram colhidos quando mais de 30% dos frutos atingiram a maturação. O número de cachos (NBU) foi obtido pela soma de todos os cachos colhidos por planta. Em cada cacho foi avaliado o comprimento (BUL), medido, por meio de fita métrica, do ponto de inserção da primeira ráquila na base até o final da raquis no ápice, a massa dos cachos (raquis, ráquulas e frutos) e dos frutos por meio de balança semi-analítica e o número de frutos. A soma da massa dos cachos (WBU) e dos frutos (WFR) e do número de frutos (FRN) foi determinada para cada indivíduo. Amostras de 20 frutos, coletadas aleatoriamente em cada cacho, foram utilizadas para determinar comprimento (FRL), diâmetro (FRW) e

espessura (FRTH) dos frutos, mensurados por meio de paquímetro digital.

Para determinar o sabor dos frutos (FRTT) de cada cacho, três experimentadores selecionaram um fruto maduro cada e atribuíram notas de 1 a 5, sendo cinco para o melhor sabor e um para o pior. Polpa, obtida de uma amostra de dez frutos por planta, com o auxílio de um misturador elétrico tipo mixer (Mondial, Versatile Black), sem adição de água, foi utilizada para análise de sólidos solúveis totais (TSS), pH e Acidez total titulável (TTA). O teor total de sólidos solúveis (SST) foi determinado por meio do refratômetro manual (ATAGO Corporation pocket, Tokyo, Japan), em °Brix. O pH foi determinado em pHmetro de bancada (Quimis). A ATT foi obtida titulando o suco com solução de NaOH 0,10 N padronizada, usando pH = 8,20 como ponto final e expresso em porcentagem de ácido cítrico (AOAC, 1990).

Foi avaliado, ainda, o tempo entre a emissão da folha e a colheita do cacho na axila desta folha, denominado de tempo até o amadurecimento (RITI). As fotos de um cacho aleatório e de um fruto desse cacho para cada progênie estudada estão na Figura 1.

As observações qualitativas foram classificadas conforme (MISTURA et al., 2015), com acréscimo das características densidade foliar e aderência do fruto ao cacho. O hábito de crescimento da árvore e das folhas foi classificado em ereto, intermediário e prostrado. A cor da folha classificado em acinzentada, verde claro e verde escuro. O formato do fruto em arredondado, oblato, ovoide e oblongo. A maturação dos frutos em uniforme, intermediária e desuniforme. A cor da flor masculina em amarelo, rosa e roxo. Cor da raquis amarela ou verde e a cor do epicarpo do fruto classificado em creme, amarelo, laranja, laranja avermelhado, vermelho e roxo. A densidade foliar em alta (muitas folhas e bem próximas umas das outras), intermediária (há espaço entre as folhas), baixa (poucas folhas e bastante espaçadas na copa), além da aderência do fruto ao cacho no momento da colheita, classificadas em alta (> 80% dos frutos aderidos), intermediária (50 a 80% aderidos) e baixa (<50% dos frutos aderidos).

4.2.3 Análise estatística

Os valores médios de cada parcela foram considerados para a análise estatística. Média, valor mínimo, valor máximo, desvio padrão (SD) e coeficiente de variação (CV%) foram avaliados para os caracteres quantitativos. Todas as análises estatísticas foram feitas com auxílio do software R (R Core Team, 2016), para as análises multivariadas utilizou-se o pacote Multivariate Analysis.

Para observações quantitativas foi realizada a análise de variância univariada (ANOVA) para cada caracter individualmente. Aqueles significativos foram submetidos a análise de variância multivariada (MANOVA) utilizando o teste Pillai com 5% de significância. Posteriormente, tais caracteres foram submetidos às análises variáveis canônicas (VC). Adicionalmente, foi aplicada a análise de agrupamento empregando o método UPGMA e a distância de Mahalanobis foi utilizada como medida de dissimilaridade.

Nas observações qualitativas, a ocorrência de cada classificador foi transformada em uma matriz percentual de ocorrência de cada nota (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Para o cálculo da dissimilaridade genética (d_{ii}) entre os genótipos i e i' ($i=1,2,3... 18$ genótipos) recorreu-se ao estimador:

$$d_{ii'} = \sqrt{\sum_{j=1}^J \left[\frac{\sum_{k=1}^K (F_{ijk} - F_{i'jk})^2}{JK} \right]}$$

onde F_{ijk} é a frequência em que o genótipo i ($i=1,2,3...18$) recebeu para o descritor j ($j=1,2,...33$) a nota associada à sua classe k , com valores de F_{ijk} variando entre 0 e 1; K refere-se ao número de classes do descritor; J é o número de descritores (33). Após obter esta matriz, foi elaborado um dendograma utilizando o método UPGMA.

A fim de estudar o conjunto das dissimilaridades (características quantitativas e qualitativas), as duas matrizes foram padronizadas com objetivo de ter seus valores variando entre 0 e 1, pela equação $V_n = [1 + (V_{obs} - V_{max})] / (V_{max})$ na qual: V_n é o valor padronizado; V_{obs} o valor observado e V_{max} é o valor máximo da matriz. Posteriormente, a média ponderada foi calculada considerando o número de descritores avaliados em cada matriz. Complementando, outro dendograma foi criado usando o método UPGMA. O ponto de corte dos dendogramas foi estabelecido de acordo com Mojena (MOJENA, 1977). A correlação cofenética foi determinada para cada dendograma. A correlação entre as três matrizes de dissimilaridade foi estimada utilizando o teste de significância de Mantel com 1.000 simulações. Foi obtida ainda a representação gráfica dos valores fenotípicos referentes a cada progênie.

Na determinação da importância relativa de caracteres utilizou-se o critério proposto por (SINGH, 1981), baseado na distância de Mahalanobis, e o critério baseado na técnica de variáveis canônicas.

Tabela 1 – Descritores quantitativos (1 ao 23) e qualitativos (24 ao 56) avaliados nos genótipos de *Butia capitata*

(Continua)

Nº	Característica	Trait	Abbreviation	Unidade
1	Folhas emitidas	Emited leafs	EMLE	número
2	Circunferência da planta	Stem circumference	SCIRC	cm
3	Altura da planta	Tree height	TRH	mm
4	Comprimento da 3 folha	Leaf length	LEL	mm
5	Largura da 3 folha	Leaf width	LEW	mm
6	Razão comprimento/largura das folhas	Ratio Leaf length/Leaf width	LEL/LEW	mm
7	Número de folhas	Leaf number	LEN	número
8	Comprimento do cacho	Bunch length	BUL	mm
9	Número de cachos	Number of bunches	NBU	número
10	Massa de todos os cachos	Weight of bunches	WBU	kg
11	Massa de todos os frutos	Weight of fruits	WFR	kg
12	Número total de frutos	Fruit number	FRN	número
13	Massa por fruto	Weight per fruit	WPFR	kg
14	Comprimento do fruto	Fruit length	FRL	mm
15	Diâmetro do fruto	Fruit width	FRW	mm
18	Sólidos solúveis totais	Total soluble solids	TSS	%

Tabela 1 – Descritores quantitativos (1 ao 23) e qualitativos (24 ao 56) avaliados nos genótipos de *Butia capitata*

(Continua)

Nº	Característica	Trait	Abbreviation	Unidade
19	pH	pH	pH	número
20	Acidez total titulável	Total Titratable Acidity	TTA	%
21	Razão SST/ATT	Ratio TSS/TTA	TSS/TTA	razão
22	Tempo para o amadurecimento	Ripening time	RITI	dias
23	Aceitação	Fruit taste	FRTT	escala
24	Aderência Alta	High fruit adherence	HFRA	código
25	Aderência Media	Intermediate fruit adherence	IFRA	código
26	Aderência Baixa	Low fruit adherence	LFRA	código
27	Frutos arredondados	Roundish fruit	RUFR	código
28	Frutos oblatos	Oblate fruit	OTFR	código
29	Frutos ovoides	Ovoid fruit	OVFR	código
30	Frutos oblongos	Oblong fruit	OGFR	código
31	Maturação uniforme	Uniform maturation	UFM	código
32	Maturação media	Intermediate maturation	IM	código
33	Maturação desuniforme	Uneven maturation	UVM	código
34	Flor masculina amarela	yellow male flowers	YMF	código
35	Flor masculina rosa	pink male flowers	PKMF	código
36	Flor masculina roxa	purple male flowers	PPMF	código
37	Raquis amarela	Yellow rachillae	YRCH	código
38	Raquis verde	Green rachillae	GRCH	código
39	Fruto creme	Cream fruit	CRFR	código
40	Fruto amarelo	Yellow fruit	YFR	código
41	Fruto laranja	Orange fruit	OFR	código
42	Fruto laranja avermelhado	Reddish-orange fruit	ROFR	código
43	Fruto vermelho	Red fruit	RFR	código
44	Fruto roxo	Purple fruit	PPFR	código
45	Hábito de crescimento da arvore-intermediário	Tree growth habit-intermediate	TRGH2	código
46	Hábito de crescimento da arvore-prostrado	Tree growth habit-prostrate	TRGH3	código
47	Hábito de crescimento da arvore-ereto	Tree growth habit-erect	TRGH1	código
48	Densidade foliar-intermediário	Canopy density-intermediate	CPD2	código
49	Densidade foliar-baixo	Canopy density-low	CPD3	código
50	Densidade foliar-alto	Canopy density-high	CPD1	código
51	Hábito de crescimento das folhas-intermediário	Leaf growth habit-intermediate	LEGH2	código
52	Hábito de crescimento das folhas-prostrado	Leaf growth habit-prostrate	LEGH3	código
53	Hábito de crescimento das folhas-ereto	Leaf growth habit-erect	LEGH1	código
54	Cor da folha-verde claro	Leaf color-light Green	LEC2	código
55	Cor da folha-verde escuro	Leaf color-dark Green	LEC3	código
56	Cor da folha-acinzentada	Leaf color-greyish	LEC1	código



Figura 1 – Cachos e frutos individuais aleatórios das progênies da coleção de germoplasma do ICA/UFMG: a, BO151; b, BO171; c, BO476; d, BO477; e, BO478; f, BO479; g, BO480; h, MIGR; i, ICA51; j, ICA74; k, ICA81; l, ICA83; m, MIDO; n, MIRO; o, ICA44; p, ICA84; q, ICA92 e r, MI474. A barra de escala dos cachos é 10 cm e dos frutos é 2 cm

4.3 RESULTADOS

Onze dos 23 caracteres quantitativos avaliados apresentaram diferenças entre os genótipos estudados ($P \leq 0,05$) pelo teste F (TABELA 2). Após descartar as variáveis que não apresentaram significância, verificou-se efeito significativo ($p < 0,01$) para a fonte de variação genótipos na MANOVA.

O número de frutos (FRN), a massa dos frutos (WFR) e massa dos cachos (WBU) apresentaram os maiores coeficientes de variação, acima de 31%, enquanto os menores foram as relações entre comprimento e largura da folha (LEL/LEW), comprimento e largura do fruto (FRL/FRW) e a largura do fruto (FRW), com valores abaixo de 3,66% (TABELA 2).

Tabela 2 – Estimativas do quadrado médio dos genótipos (Qm), coeficiente de variação residual (CV), valor mínimo (Min), máximo (Max) e médio das características quantitativas vegetativas e reprodutivas de progênies (n=18) de *B. Capitata*

Descritors	Abbrev.	Qm	CV(%)	Min	Max	Media (\pm EP)
Emited leafs	EMLE	4,5 ^{ns}	7,43	15,00	24,00	20,72 \pm 0,89
Stem circumference	SCIRC	57,73 ^{ns}	41,02	6,50	49,00	28,35 \pm 6,71
Tree height	TRH	43,28 ^{ns}	25,38	1,00	37,67	20,91 \pm 3,06
Leaf length	LEL	444,03 ^{**}	6,67	149,19	208,16	177,98 \pm 6,86
Leaf width	LEW	180,1 [*]	6,08	112,53	158,87	133,85 \pm 4,7
Leaf length/Leaf width	LEL/LEW	0,01 [*]	2,92	1,21	1,44	1,33 \pm 0,02
Leaf number	LEN	18,57 ^{ns}	8,96	29,67	47,00	36,21 \pm 1,87
Bunch length	BUL	19,78 ^{ns}	8,63	42,97	62,58	50,58 \pm 2,52
Number of bunches	NBU	30,26 [*]	15,80	12,00	32,00	22,54 \pm 2,06
Weight of bunches	WBU	205,72 [*]	31,05	5,75	66,02	30,23 \pm 5,42
Weight of fruits	WFR	172,81 [*]	31,29	5,14	58,65	27,2 \pm 4,91
Fruit number	FRN	2390787,37 [*]	34,26	625,00	7241,00	2891,21 \pm 571,94
Weight per fruit	WPFR	2,49 ^{ns}	12,97	7,71	13,83	9,57 \pm 0,72
Fruit length	FRL	2,43 ^{ns}	4,52	24,75	30,39	26,83 \pm 0,7
Fruit width	FRW	2,39 [*]	3,65	22,45	27,66	24,77 \pm 0,52
Fruit thickness	FRTH	1,71 ^{ns}	19,45	5,30	12,25	6,86 \pm 0,77
Fruit length/fruit width	FRL/FRW	0,01 [*]	3,47	0,97	1,19	1,09 \pm 0,02
Total soluble solids	TSS	1,29 ^{ns}	9,69	8,15	13,44	11,12 \pm 0,62
pH	pH	0,02 ^{ns}	2,76	3,62	4,30	3,97 \pm 0,06
Total titratable acidity	TTA	0,18 [*]	14,93	0,81	2,80	1,86 \pm 0,16
Ratio TSS/TTA	TSS/TTA	2,56 ^{ns}	25,56	4,40	12,76	6,48 \pm 0,96
Ripening time	RITI	264,67 ^{ns}	3,70	293,41	366,63	335,04 \pm 7,15
Fruit taste	FRTT	0,16 [*]	6,75	2,77	4,20	3,56 \pm 0,14

*signficativo até 5% pelo teste F, **significativo até 0,01 pelo teste F, ns: não significativo.

A primeira e a segunda variáveis canônicas (VC) responderam por 71,85% da variação total, sendo a primeira (VC1) mais correlacionada positivamente com o sabor do fruto (FRTT) e, em menor escala, com a acidez total titulável (TTA) (FIGURA 2). As demais variáveis apresentaram correlação negativa com VC1, com destaque para LEL/LEW. A partir da dispersão gráfica das variáveis canônicas, é possível inferir que os genótipos BO151 e BO476 apresentaram maiores notas para o sabor, enquanto

o MIGR as menores.

A VC2 associou-se com o maior valor e positivamente com FRL/FRW e negativamente com as demais características. Portanto, genótipos, na parte negativa do gráfico, esquerda (VC1) e inferior (VC2), apresentam valores progressivamente maiores para os descritores LEL, LEW, LEL/ LEW, NBU, WBU, WFR, FRN e FRW. Já o contrário foi observado para os genótipos MIRO e BO479.

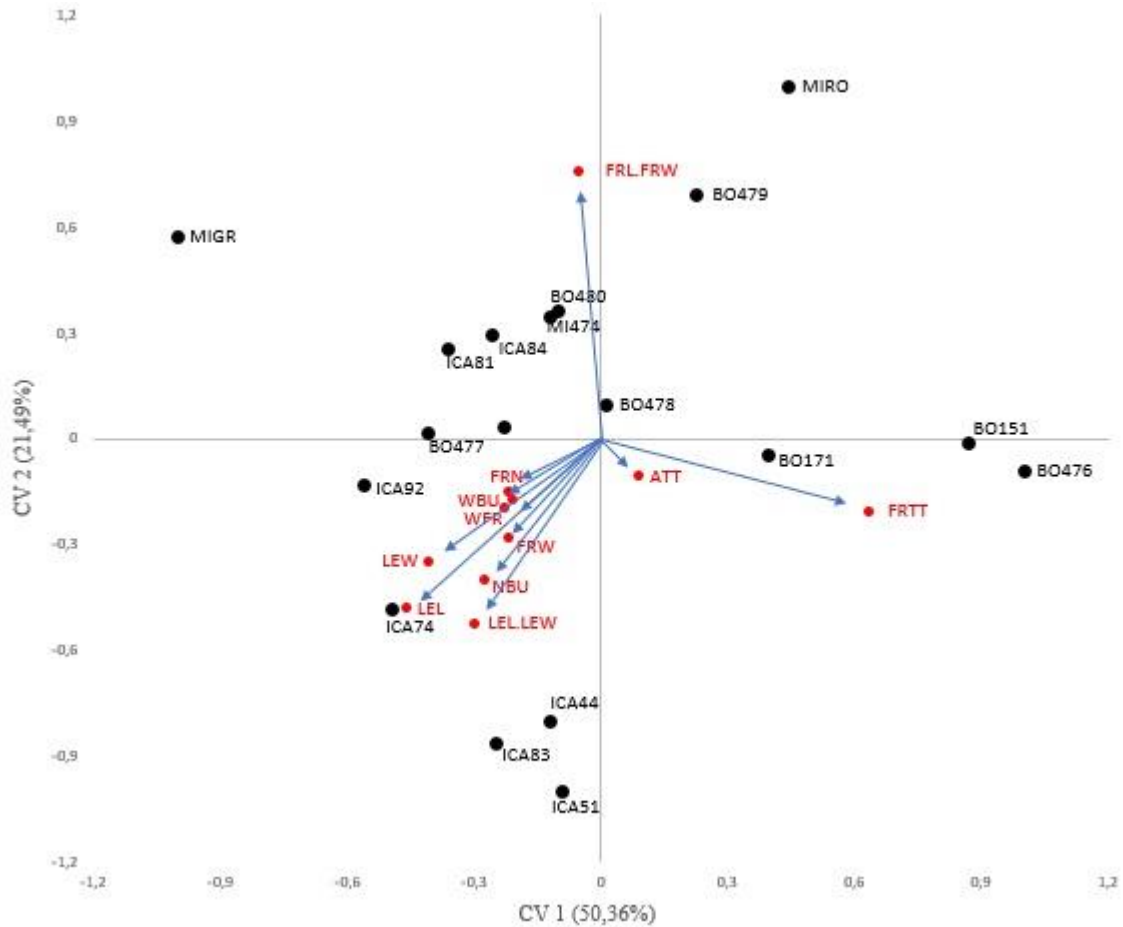


Figura 2 – Dispersão gráfica das variáveis canônicas para as progênie (n=18) de *B. capitata*. Razão do comprimento e largura do fruto (FRL/FRW), largura do fruto (FRW), sabor do fruto (FRTT), acidez total titulável (TTA), razão do comprimento e largura da folha (LEL/LEW), comprimento da folha (LEL), largura da folha (LEW) número de frutos (FRN), massa dos frutos (WFR), massa dos cachos (WBU), número de cachos (NBU)

O sabor do fruto, o comprimento (LEL), a largura da folha (LEW) e a razão entre comprimento e largura do fruto foram os caracteres quantitativos com maior importância relativa, ou seja, com maior contribuição para a discriminação entre as progênie, pelo método das variáveis canônicas. Utilizando o método de Singh (1981), o comprimento (LEL) e a largura da folha (LEW) apresentaram maior importância relativa, com 44,10% e 31,99%, respectivamente, seguido do sabor do fruto. Dentre os caracteres qualitativos a aderência, o fruto amarelo (YFR), o fruto laranja (OFR), os frutos arredondados (RFR), os frutos oblatos (OTFR), os frutos ovoides (OVFR) e os frutos oblongos (OGFR) foram os que mais contribuíram para a discriminação entre as progênie. Nas Figuras 3 e 4 podemos observar os caracteres em ordem decrescente de importância.

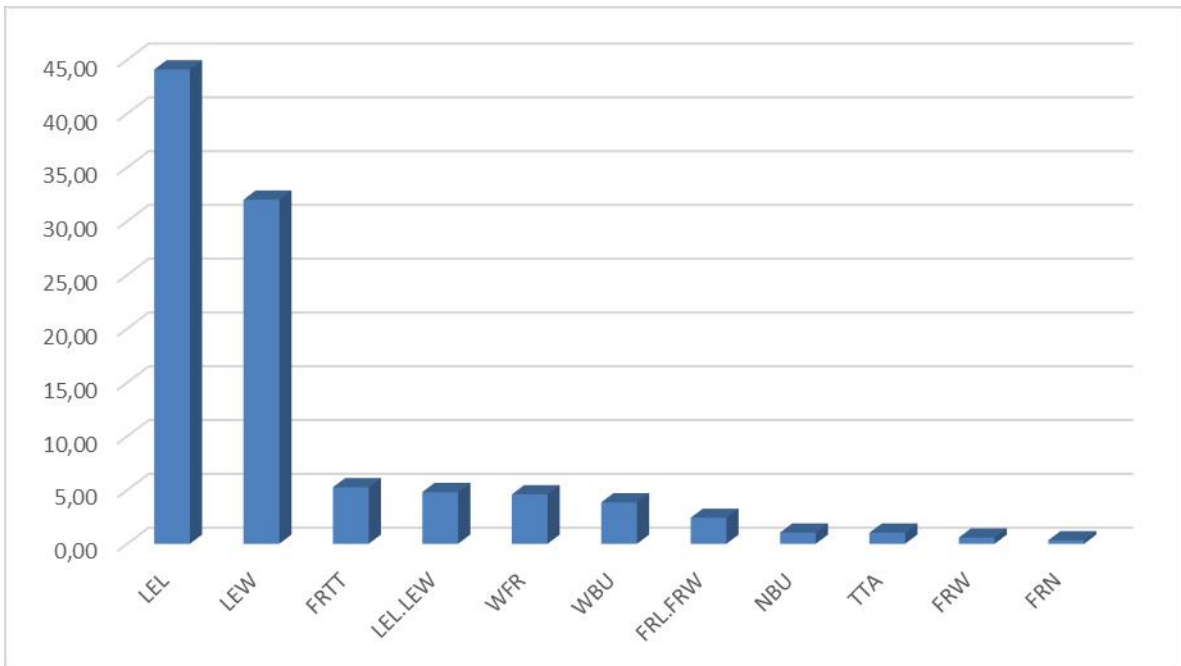


Figura 3 – Contribuição relativa das características avaliadas (%), segundo metodologia de Singh (1981), em progênes de *B. Capitata*. Razão do comprimento e largura do fruto (FRL/FRW), largura do fruto (FRW), sabor do fruto (FRTT), acidez total titulável (TTA), razão do comprimento e largura da folha (LEL/LEW), comprimento da folha (LEL), largura da folha (LEW) número de frutos (FRN), massa dos frutos (WFR), massa dos cachos (WBU), número de cachos (NBU)

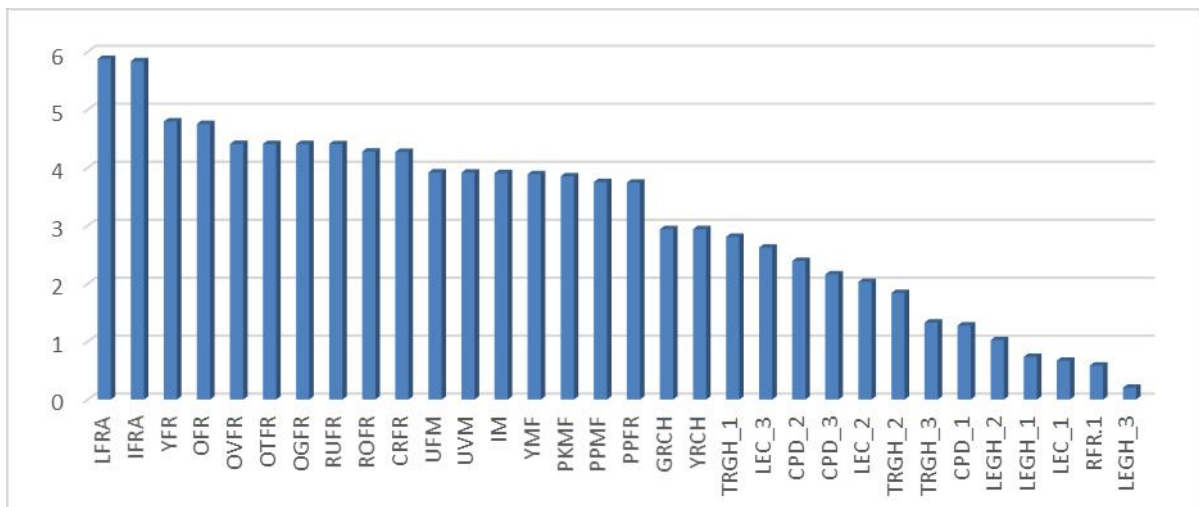


Figura 4 – Contribuição relativa das características avaliadas (%), segundo metodologia de Singh (1981), em progênes de *B. Capitata*. Aderência Alta (HFRA), aderência media (IFRA), aderência baixa (LFRA), frutos arredondados (RUFR), frutos oblatos (OTFR), frutos ovoides (OVFR), frutos oblongos (OGFR), maturação uniforme (UFM), maturação media (IM), maturação desuniforme (UVM), flor masculina amarela (YMF), flor masculina rosa (PKMF), flor masculina roxa (PPMF), raquis amarela (YRCH), raquis verde (GRCH), fruto creme (CRFR), fruto amarelo (YFR), fruto laranja (OFR), fruto laranja avermelhado (ROFR), fruto vermelho (RFR), fruto roxo (PPFR), hábito de crescimento da arvore-intermediário (TRGH2), hábito de crescimento da arvore-prostrado (TRGH3), hábito de crescimento da arvore-ereto (TRGH1),

densidade foliar-intermediário (CPD2), densidade foliar-baixo (CPD3), densidade foliar-alto (CPD1), hábito de crescimento das folhas intermediário (LEGH2), hábito de crescimento das folhas-prostrado (LEGH3), hábito de crescimento das folhas-ereto (LEGH1), cor da folha-verde claro (LEC2), cor da folha-verde escuro (LEC3), cor da folha-acinzentada (LEC1)

Os descritores quantitativos permitiram a formação do dendrograma com quatro grupos diferentes, considerando o ponto de corte de Mojena de 20,04 (FIGURA 3). A representação gráfica das médias das progênies de *B. capitata* demonstrou que a progênie MIRO tem elevados valores para a razão entre comprimento e largura do fruto e baixos para as características de produção, número de cachos (NBU), massa dos cachos (WBU), massa dos frutos (WFR), número de frutos (FRN) e comprimento dos frutos (FRW). Por conseguinte, o segundo grupo, formado pelas progênies MI474, BO151, BO171, BO480 e ICA84 se destacaram dos demais pelos maiores valores de acidez total titulável (TTA) e menores para comprimento da folha (LEW). O terceiro grupo, com BO476 e BO479, foi identificado com estimativas inferiores de LEL/LEW. Por fim, o quarto grupo, constituído pelos demais genótipos, não apresentou em suas médias um padrão que tornasse possível sua caracterização. A progênie ICA81 apresentou as maiores médias para cinco dos 11 descritores, com destaque para número e massa dos cachos e dos frutos e número de frutos.

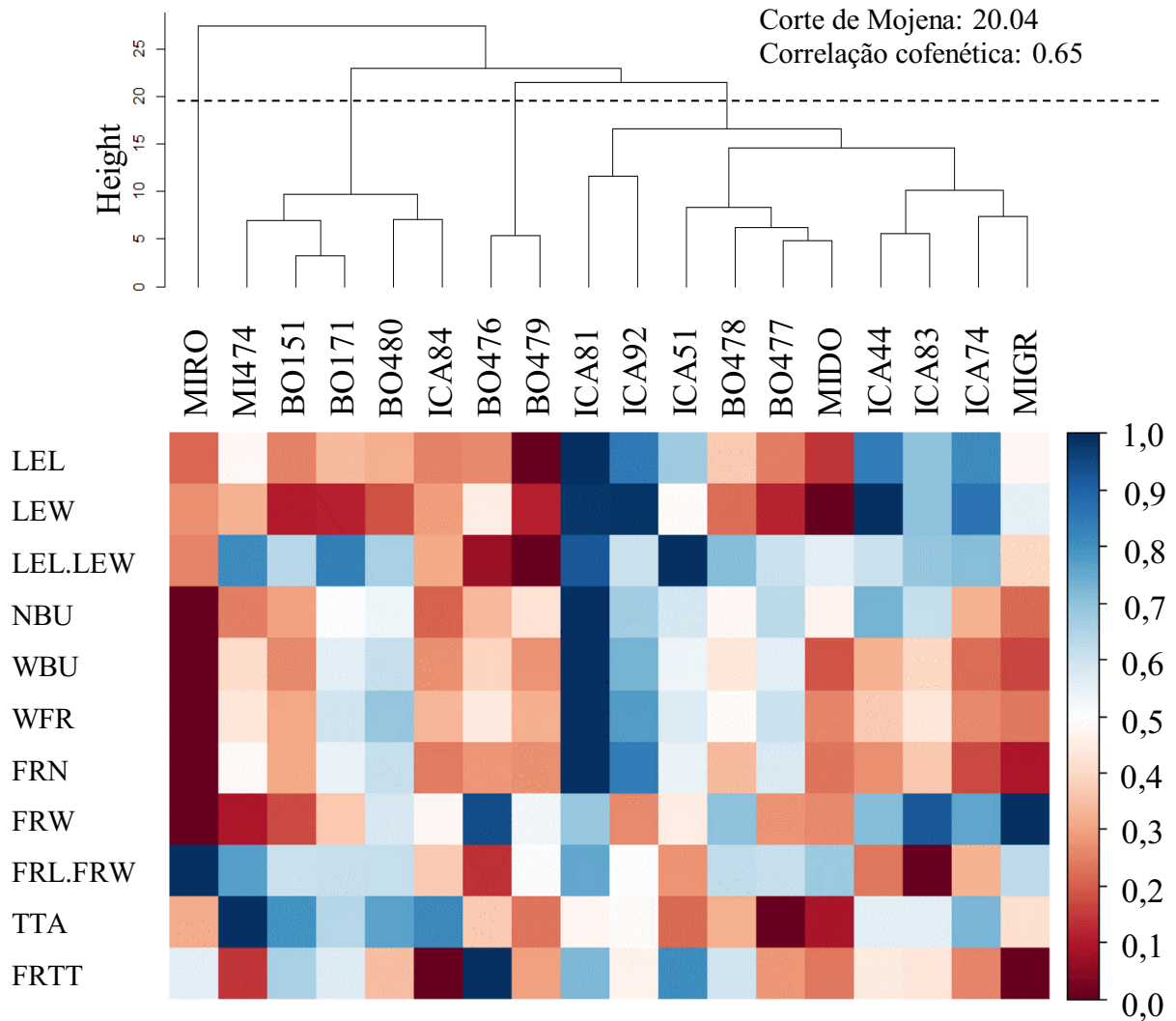


Figura 5 – Dendrograma obtido pelo método UPGMA usando matrizes de dissimilaridade e representação gráfica dos valores fenotípicos entre as progênies (n=18) para as características quantitativas

O dendrograma para descritores qualitativos permitiu a formação de dois grupos, considerando o ponto de corte de Mojena de 90,21 (FIGURA 4). Somente uma progênie (MIRO) constituiu o primeiro grupo, enquanto as demais ficaram no segundo. Esta progênie se destacou dos demais genótipos devido às maiores notas de flor masculina roxa (PPMF), frutos laranja avermelhado (ROFR), frutos vermelhos (RFR), fruto roxo (PPRF) e densidade foliar baixa (CPD3). Devido, ainda, às menores notas de flor masculina amarela (YMF), raquis verde (GRCH), frutos amarelos (YFR) e fruto laranja (OFR).

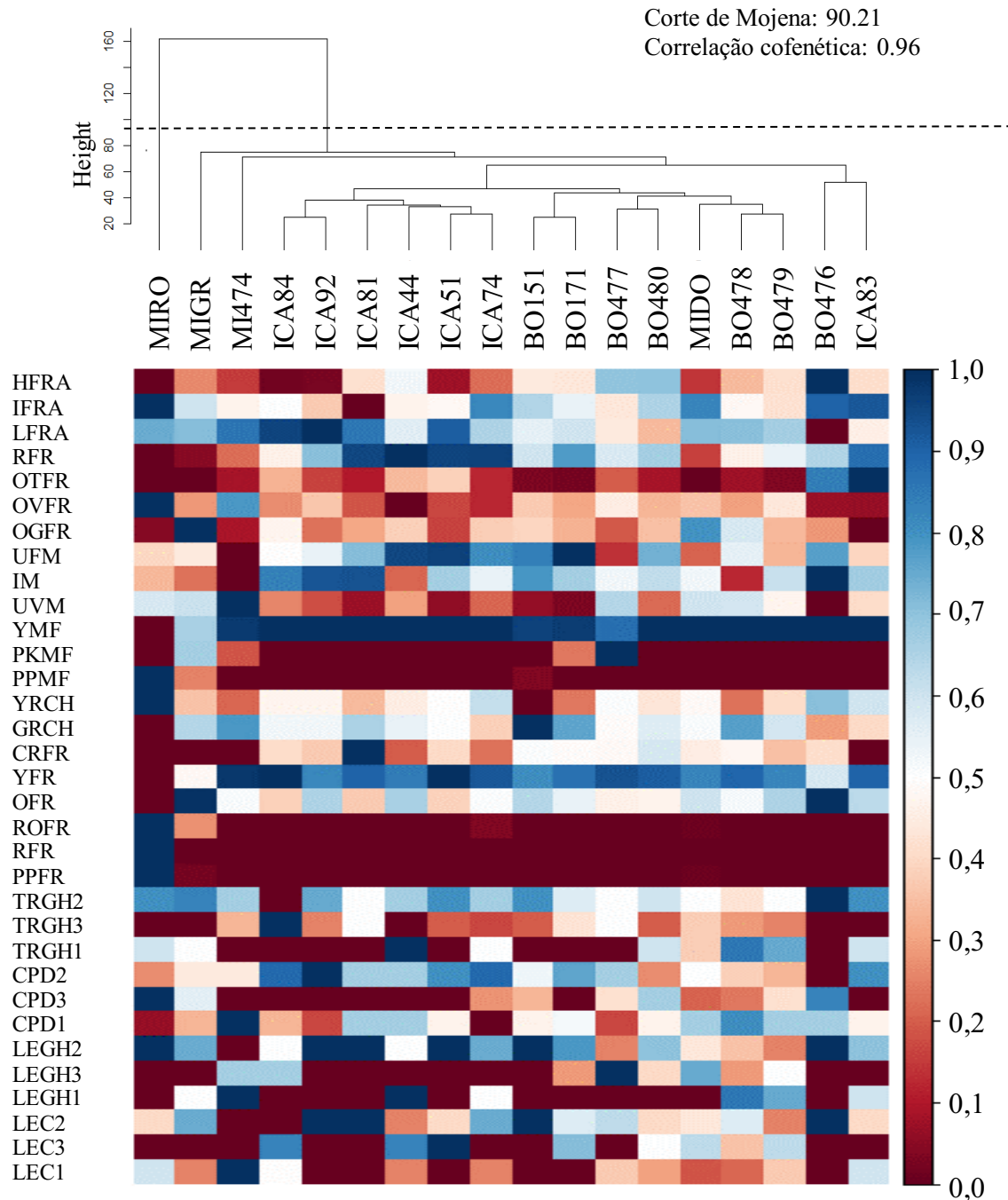


Figura 6 – Dendrograma obtido pelo método UPGMA usando matrizes de dissimilaridade e representação gráfica dos valores fenotípicos entre as progênies (n=18) e as características qualitativas

No dendrograma conjunto, com as características quantitativas e qualitativas, ocorreu, também, a formação de dois grupos diferentes, considerando o ponto de corte de Mojena de 0,44 (FIGURA 5). Entretanto, um subgrupo apresentou apenas progênies do ICA e quatro grupos apresentaram apenas um indivíduo cada.

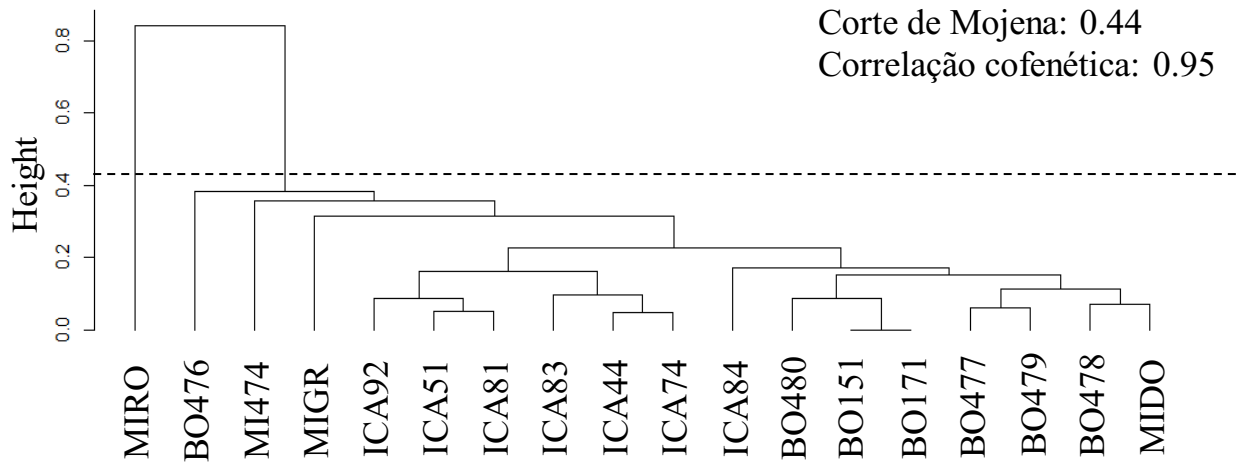


Figura 7 – Dendrograma obtido pelo método UPGMA usando matrizes de dissimilaridade com base no conjunto das características quantitativas e qualitativas

As estimativas de dissimilaridade média variaram de 12,17 a 27,47 para os dados quantitativos, de 52,08 a 161,95 nos qualitativos e de 0,2 a 0,84 na análise conjunta (TABELA 3). Nos descritores quantitativos, a progênie MI474 foi a mais divergente (a mais distante) em relação à maioria dos genótipos (55,56%), seguida das progênies MIRO e ICA81. Já nos qualitativos e na análise conjunta, a progênie MIRO foi a mais divergente e depois a ICA44.

Tabela 3 – Distâncias genotípicas (dendrograma com observações conjuntas) para progênies (n=18) de *B. capitata*

Famílias	Quantitativos			Qualitativos			Conjunto		
	DM ¹	MP	MD	DM	MP	MD	DM	MP	MD
BO151	14,82	BO171	ICA81	62,96	BO171	MIRO	0,26	BO171	MIRO
BO171	14,9	BO151	ICA44	52,08	BO151	MIRO	0,21	BO151	MIRO
BO476	23,67	BO479	MI474	82,4	ICA83	MIRO	0,42	ICA83	MIRO
BO477	14,58	MIDO	MI474	57,36	BO479	MIRO	0,23	BO479	MIRO
BO478	12,77	BO171	MI474	53,6	BO479	MIRO	0,2	BO171	MIRO
BO479	21,17	BO476	MI474	48,61	BO478	MIRO	0,23	BO477	MIRO
BO480	20,32	ICA84	MIRO	52,77	BO171	MIRO	0,24	BO171	MIRO
ICA44	23,95	ICA83	MI474	56,66	ICA74	MIRO	0,29	ICA74	MIRO
ICA51	17,93	BO478	ICA84	57,57	ICA74	MIRO	0,25	ICA81	MIRO
ICA74	17,32	MIGR	BO479	54,73	ICA51	MIRO	0,24	ICA44	MIRO
ICA81	23,65	ICA51	ICA84	55,48	BO171	MIRO	0,28	ICA51	MIRO
ICA83	17,87	ICA44	MI474	65,05	ICA44	MIRO	0,29	ICA44	MIRO
ICA84	21,92	BO151	ICA81	54,43	ICA92	MIRO	0,26	BO171	MIRO
ICA92	19,45	ICA81	MIRO	54,35	ICA84	MIRO	0,25	ICA51	MIRO
MI474	26,07	BO151	BO476	76,75	BO479	MIRO	0,4	BO151	MIRO
MIDO	15,52	BO477	MI474	60,41	BO478	MIRO	0,25	BO478	MIRO
MIGR	16,47	ICA74	MIRO	78,56	MIDO	MIRO	0,35	MIDO	MIRO
MIRO	27,47	BO151	BO480	161,95	MIGR	ICA44	0,84	MIGR	ICA44

¹DM=distância média, MP=mais próximo, MD=mais distante

A matriz de dissimilaridade conjunta apontou alta correlação com a matriz qualitativa, enquanto que, nas associações entre o dendrograma quantitativo com a matriz conjunta e qualitativa a correlação apontada foi, respectivamente, moderada e baixa (TABELA 4). Todavia, todas as correlações foram significativas pelo teste Mantel ($p \leq 0.05$).

Tabela 4 – Correlação entre as matrizes de dissimilaridade para progênies (n=18) de *B. capitata*

Dendrograma	Correlações entre matrizes de dissimilaridade		
	Quantitativo	Qualitativo	Conjunto
Quantitativo	1	0,35	0,57
Qualitativo	<0.01**	1	0,97
Conjunto	<0.01**	<0.01**	1

**Significativo pelo teste de Mantel com 1000 simulações

4.4 DISCUSSÃO

Existe diferença entre as progênies estudadas, verificada pela significância de onze descritores quantitativos pelo teste F na ANOVA e pelo teste Pillai na MANOVA. Estas observações foram confirmadas pelos valores de CV moderados a altos. O CV é um parâmetro que não está relacionado a uma unidade de medida e, portanto, é mais eficaz na comparação da variação dos caracteres avaliados (MOHAMMADI *et al.*, 2019). Neste estudo, os caracteres de produção apresentaram os maiores CVs. Resultado similar foi observado por Fajardo *et al.* (2018) que, estudando a carnaúba, verificaram o maior CV para massa fresca do fruto. Os descritores morfoagronômicos são, portanto, eficientes em demonstrar a diversidade genética em progênies de meio-irmãos de *B. capitata*.

O processo de domesticação em *B. capitata* ainda é incipiente, portanto, espera-se que a variabilidade entre as características de interesse seja alta. Além desta particularidade, apresenta monoiccia e dicogamia do tipo protandria, o que contribui para a ocorrência de fluxo gênico, bem como, o fato da propagação ser feita exclusivamente por sementes (MERCADANTE-SIMÕES *et al.*, 2006). Esses mecanismos reprodutivos foram apontados como responsáveis pela diversidade genética em *E. oleracea*, verificada por meio de marcador molecular (RAPD) (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

A análise de variáveis canônicas permitiu reduzir em um plano bidimensional os 11 caracteres quantitativos utilizados na caracterização das progênies, explicando aproximadamente 72% da variação encontrada. Este é o método mais comum usado para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados (UYEDA; CAETANO; PENNELL, 2015) sendo utilizado com sucesso em estudos sobre divergência genética em várias espécies vegetais como *Cocos nucifera* (SOBRAL *et al.*, 2019) e *Brassica oleracea* (BRITO *et al.*, 2021).

Os caracteres com maior importância relativa na discriminação das progênies foram os mesmos tanto na análise de variáveis canônicas quanto pelo método de Singh. Indicando que o comprimento e a largura da folha e o sabor do fruto devem ser priorizados na caracterização de *B. capitata*. De forma similar, em cultivares de *Phoenix dactylifera* (tamareira), as características largura da folha, largura do fruto e cor do epicarpo são as mais eficientes na separação de genótipos (ELSAFY *et al.*, 2015). A avaliação destas características deve ser priorizada em etapas futuras do programa de melhoramento de

B. capitata, uma vez que consiste em importante contribuição para identificação da dissimilaridade das famílias e a possibilidade real de obtenção de ganhos por seleção, representando o uso racional de mão de obra, economia de tempo e recursos materiais. Em contrapartida, características com pouca contribuição para o cálculo da dissimilaridade genética entre os materiais estudados podem ser eliminadas das análises subsequentes (MACHADO *et al.*, 2017).

A realização da análise de agrupamento de forma particionada permitiu caracterizar as progênies também em relação ao tipo de caracter. Os caracteres quantitativos permitiram a formação de um número maior de grupos, indicando elevada variabilidade relacionada a esse tipo de caracter. A correlação cofenética significativa e próxima de 0,7 permite verificar a adequação da classificação do conjunto de dados. O dendrograma com dados qualitativos e conjuntos evidenciou a importância do caracter cor amarela do fruto na discriminação das progênies. Além disso, a análise conjunta revelou uma tendência de progênies da mesma localidade serem agrupadas em um único cluster, com apenas algumas progênies da mesma região agrupados em grupos separados, podendo auxiliar os pesquisadores a explorar pequenas populações para estudos posteriores (IEZZONI; PRITTS, 1991).

Houve uma concordância parcial entre a análise de agrupamento pelo UPGMA e as variáveis canônicas, já que a progênie MIRO foi alocada de forma isolada em ambas as técnicas. Essa progênie é considerada o material mais divergente, tanto na dispersão das duas primeiras variáveis canônicas, quanto nos dendrogramas. Essa maior distância das demais progênies pode contribuir para classificá-la como um morfotipo ou uma variedade de *B. capitata*. No entanto, apesar desse genótipo apresentar baixo desempenho produtivo, os frutos de coloração arroxeada (FIGURA 2) o colocam em destaque devido ao seu potencial como alimento funcional, em função de compostos bioativos em seu epicarpo (AGUIAR *et al.*, 2014) ou mesmo para o uso paisagístico, posto que as palmeiras estão entre as plantas mais utilizadas na ornamentação urbana (MORAES *et al.*, 2015; PIVETTA *et al.*, 2010).

Tomando por base os marcadores morfoagronômicos e as análises empregadas, a variabilidade observada sugere que a população da coleção de germoplasma do ICA/UFMG pode apoiar programas de conservação e melhoramento genético. Este trabalho se destaca por ser a primeira vez que a *B. capitata* é avaliada sob cultivo, e, conseqüentemente, ao explorar o potencial existente no germoplasma, gerar possibilidades que permitirão a conservação da espécie e o desenvolvimento de cultivares melhoradas para uso agrônômico.

4.5 CONCLUSÕES

Este estudo permitiu detectar a existência de elevada diversidade genética entre as progênies da coleção de germoplasma de *B. capitata*, considerando tanto a abordagem univariada, quanto multivariada. Estes podem facilitar a seleção e utilização dos caracteres de interesse e também sugerem o potencial da espécie para melhoramento.

As características comprimento e largura da folha, razão do comprimento e largura do fruto, o sabor do fruto e a cor do fruto são as características que mais contribuíram para a discriminação das progênies.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. C. S. *et al.* Volatile compounds from fruits of *Butia capitata* at different stages of maturity and storage. **Food Research International**, 2014.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ANDRADE, E. K. V. de *et al.* Genetic dissimilarity among sweet potato genotypes using morphological and molecular descriptors. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 4, p. 447, 11 ago. 2017.
- AOAC. **Official methods of analysis**. 15. ed. Arlington: ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, 1990.
- BRITO, O. G. *et al.* Genetic divergence between half-sibling progenies of kale using different multivariate approaches. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 178–185, abr. 2021.
- CNCFLORA. **Butia capitata in Lista Vermelha da flora brasileira**. Disponível em: <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Butia capitata](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Butia%20capitata)>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- CORTES, D. F. M. *et al.* Model-assisted phenotyping by digital images in papaya breeding program. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 4, p. 294–302, 1 jul. 2017.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: Editora UFV, 2012.
- 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, 1 set. 2015.
- EL KADRI, N.; MIMOUN, M. BEN; HORMAZA, J. I. Genetic diversity of Tunisian male date palm (*Phoenix dactylifera* L.) genotypes using morphological descriptors and molecular markers. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 24–34, 27 jul. 2019.
- ELSAFY, M.; GARKAVA-GUSTAVSSON, L.; MUJAJU, C. Phenotypic Diversity of Date Palm Cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) from Sudan Estimated by Vegetative and Fruit Characteristics. **International Journal of Biodiversity**, v. 2015, p. 1–7, 30 dez. 2015.
- FAJARDO, C. G. *et al.* Research Article Genetic and phenotypic association of the carnauba palm tree evaluated by inter-simple sequence repeat and biometric traits. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 3, 2018.
- IEZZONI, A. F.; PRITTS, M. P. Applications of Principal Component Analysis to Horticultural Research. **HortScience**, v. 26, n. 4, p. 334–338, abr. 1991.
- KHADIVI, A. *et al.* Phenotypic and fruit characterizations of *Prunus divaricata* Ledeb. germplasm from the north of Iran. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 109033, 5 fev. 2020.
- LORENZI, H. *et al.* **Flora Brasileira - ARECACEAE (Palmeiras)**. 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010.
- MACHADO, I. P. *et al.* Concordance between botanical groups and genetic diversity in peanut. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 4, p. 663–673, 2017.
- MAGALHÃES, H. M. *et al.* Genetic diversity of endangered populations of *Butia capitata*: Implications for conservation. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 11, p. 888–900, 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, 30 mar. 2012.

- MERCADANTE-SIMÕES, M. O. *et al.* Reproductive biology of *Butia Capitata* (Mart.) Beccari (Arecaceae) in a savanna area of the north of Minas Gerais, Brazil. **Unimontes Científica**, v. 8, n. 2, p. 144–149, 2006.
- MISTURA, C. C. *et al.* Descriptors for Butiá [*Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick]. p. 44, 2015.
- MOHAMMADI, R. *et al.* Morphological characterization of *Prunus microcarpa* Boiss. germplasm: Implications for conservation and breeding. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 718–725, fev. 2019.
- MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359–363, 1 abr. 1977.
- MORAES, L. A.; MACHADO, R. R. B.; ARAÚJO, M. DE F. V. O babaçu na zona urbana de Teresina – PI: distribuição e viabilidade paisagística. **Revista Equador**, v. 4, n. 4, p. 112–132, 16 dez. 2015.
- NIETSCHKE, S. *et al.* Variability in reproductive traits in *Jatropha curcas* L. accessions during early developmental stages under warm subtropical conditions. **GCB Bioenergy**, v. 7, n. 1, p. 122–134, 1 jan. 2015.
- NUNES, A. M. *et al.* Caracterização molecular de butiazeiro por marcadores RAPD. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 702–707, set. 2008.
- OLIVEIRA, M. DO S. P. de *et al.* Diversidade genética entre acessos de açaizeiro baseada em marcadores RAPD. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1645–1653, dez. 2007.
- OLIVEIRA, M. DO S. P. DE; FERREIRA, D. F.; SANTOS, J. B. DOS. Divergência genética entre acessos de açaizeiro fundamentada em descritores morfoagronômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 501–506, abr. 2007.
- OLIVEIRA, N. C. C. *et al.* Seed structure, germination, and reserve mobilization in *Butia capitata* (Arecaceae). **Trees**, v. 27, n. 6, p. 1633–1645, 26 jul. 2013.
- PIVETTA, K. F. L. *et al.* Conservation and use of palm trees in Brazil's landscaping. **Acta Horticulturae**, v. 881, p. 1031–1034, 25 nov. 2010.
- RIBEIRO, F. E. *et al.* Divergência genética entre populações de coqueiro-gigante-do-Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 9, p. 1615–1622, 1999.
- SILVA, P. A. D.; SCARIOT, A. Phenology, biometric parameters and productivity of fruits of the palm *Butia capitata* (Mart.) Beccari in the Brazilian cerrado in the north of the state of Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 3, p. 580–589, jul. 2013.
- SINGH, D. The Relative Importance of Characters Affecting Genetic Divergence. **Indian Journals of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237–245, 1981.
- SOBRAL, K. M. B. *et al.* Diversidade genética entre acessos de coqueiro-gigante. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 28–39, 2018.
- SOBRAL, K. M. B. *et al.* Há variabilidade genética em acessos de coqueiro-anão conservados no Brasil? **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 52–61, 9 maio 2019.
- SOUSA, A. M. de; OLIVEIRA, M. do S. P. de; FARIAS NETO, J. T. de. Genetic divergence among white-type acai palm accessions based on morpho-agronomic characters. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 751–760, set. 2017.
- UYEDA, J. C.; CAETANO, D. S.; PENNELL, M. W. Comparative Analysis of Principal Components Can be Misleading. **Systematic Biology**, v. 64, n. 4, p. 677–689, 1 jul. 2015.

5 ARTIGO 2 – ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE *BUTIA CAPITATA*

RESUMO

Butia capitata possui elevado valor nutricional e múltiplos usos, e encontra-se em processo incipiente de domesticação no Brasil, o que requer estratégias acuradas de seleção para obter genótipos superiores. Objetivou-se estimar parâmetros genéticos e prever valores genéticos de características morfoagronômicas em progênies de *B. capitata* por meio de análise de modelos mistos. Dezoito progênies de meios-irmãos foram avaliadas, considerando o delineamento em blocos casualizados, com três repetições e três plantas por parcela, espaçadas em 5 x 3 m. Foram avaliadas as seguintes características: altura de planta (TRH), comprimento do limbo foliar (LEL), folhas emitidas (EMLE), número de cachos (NBU), número de frutos (FRN), massa dos frutos (WFR) e comprimento de fruto (FRL). Os parâmetros genéticos foram estimados pela metodologia de modelos mistos. As estimativas de herdabilidade e o coeficiente de variação genética indicaram a possibilidade de seleção bem-sucedida de genótipos promissores. Além disso, o coeficiente de variação relativo foi superior a uma unidade para a maioria das características. Os caracteres NBU, FRN e WFR apresentaram alta correlação entre si e entre TRH e LEL. Todas as características apresentaram estimativas satisfatórias para o ganho de seleção. A seleção para o maior massa dos frutos pode proporcionar elevados ganhos diretos, bem como ganhos indiretos favoráveis para as demais características. O índice de seleção simultânea na população estudada fornece progênies que devem ser priorizadas na escolha de genitores em um novo ciclo de seleção.

Palavras-chave: *Arecaceae*, índice de seleção, melhoramento genético, modelos mistos, REML/BLUP.

ESTIMATES OF GENETIC PARAMETERS AND PROGENY SELECTION OF *BUTIA CAPITATA*

ABSTRACT

Butia capitata has high nutritional value and multiple uses, and is in an incipient process of domestication in Brazil, which requires accurate selection strategies to obtain superior genotypes. The objective was to estimate genetic parameters and predict genetic values of morphoagronomic traits in progenies of *B. capitata* through mixed model analysis. Eighteen half-sib progenies were evaluated, considering a randomized block design, with three replications and three plants per plot, spaced at 5 x 3 m. The following characteristics were evaluated: tree height (TRH), leaf length (LEL), emitted leaves (EMLE), number of bunches (NBU), number of fruits (FRN), fruit mass (WFR) and fruit length (FRL). The genetic parameters were estimated by the mixed models methodology. The heritability estimates and the coefficient of genetic variation indicated the possibility of successful selection of promising genotypes. In addition, the relative coefficient of variation was greater than one unit for most traits. The characters NBU, FRN and WFR showed high correlation between themselves and between TRH and LEL. All traits presented satisfactory estimates for selection gain. Selection for the highest fruit mass can provide high

direct gains, as well as favorable indirect gains for the other traits. The simultaneous selection index in the studied population provides progenies that should be prioritized when choosing parents in a new selection cycle.

Keywords: Arecaceae, selection index, genetic improvement, mixed models, REML/BLUP.

5.1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é a mais rica savana do mundo, com altos níveis endemismo, sendo um dos hotspots para a conservação global (MYERS *et al.*, 2000). Apesar da sua importância, o Cerrado tem sido rapidamente degradado (STRASSBURG *et al.*, 2017). Nele ocorre a palmeira *Butia capitata* (Mart.) Becc.), conhecida como coquinho azedo, butiá (HEIDEN; ELLERT-PEREIRA; ESLABÃO, 2020). Seus frutos são muito apreciados e consumidos tanto *in natura* quanto processados. Sua polpa, se comparada com outras variedades de frutas, apresenta elevado teor de óleo, de fibra dietética, de pró-vitamina A, de vitamina C, de compostos fenólicos (catequina, ácido tânico) e de potássio (AGUIAR *et al.*, 2014; VIEIRA *et al.*, 2016). No entanto, a oferta de frutos é feita exclusivamente pelo extrativismo (SÁ; SCARIOT; FERREIRA, 2018). Isso, associado ao desmatamento e a ampliação das atividades agropecuárias nas suas regiões de ocorrência, são fatores que contribuem para enquadrar a espécie na categoria de vulnerável à extinção (CNCFLORA, 2012).

Embora possua grande potencial de cultivo, *B. capitata* é uma espécie ainda não domesticada. Neste sentido, o melhoramento genético é considerado um importante recurso no processo de cultivo, podendo determinar o sucesso econômico de pomares comerciais. A estimativa de parâmetros genéticos, a previsão de possíveis ganhos em genótipos candidatos à seleção e o conhecimento do controle genético das características de interesse são etapas essenciais para a definição de estratégias mais eficientes de melhoramento (RESENDE, 2015). Estudos com progênies de meios-irmãos possibilitam avaliar o potencial dos pais por meio da avaliação agrônômica de seus respectivos filhos. Permitem, também, estimar parâmetros genéticos, como herdabilidade e variâncias genéticas, que são utilizados na seleção de indivíduos superiores por modelos lineares mistos em palmáceas (BERGO *et al.*, 2019; DOMICIANO *et al.*, 2015; FARIAS NETO; CLEMENT; RESENDE, 2013).

Modelos lineares mistos, por meio das metodologias de Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Predição Linear Sem Vieses (REML/BLUP), permitem a predição acurada e não viesada dos valores genéticos, mesmo sob desbalanceamento. Além disso, possibilita o uso simultâneo das informações do indivíduo e da família, proporcionando estimativas mais precisas dos componentes da variação genética e dos valores genéticos individuais (BERGO *et al.*, 2019; CARVALHO *et al.*, 2020; LUSTRI *et al.*, 2021; RESENDE, 2007).

Em estudos que utilizam várias características, a seleção simultânea gera índices que propiciam a obtenção de ganhos mais equilibrados. O índice de seleção simultâneo de Mulamba e Mock atribui pesos aos genótipos, de acordo com o interesse do melhorista, aumentando ou diminuindo a expressão fenotípica (MULAMBA; MOCK, 1978; TEIXEIRA *et al.*, 2012).

Neste sentido, objetivou-se com este trabalho estimar parâmetros e predizer valores genéticos de características morfoagronômicas em progênies de polinização aberta da coleção de germoplasma de *B.*

capitata. Objetivou-se, também, realizar a seleção simultânea de genitores, tanto para produção de frutos quanto vigor da planta, visando compor programa de melhoramento genético da espécie.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em 18 progênies de polinização aberta, da Coleção de Germoplasma de *B. capitata* do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, *Campus* Montes Claros (16°68'20"S; 43°83'96"W), com cinco anos de idade. As progênies foram obtidas de sementes coletadas em plantas nos municípios de Bonito de Minas, Mirabela e Montes Claros, no Norte de Minas Gerais. O Clima da região é tropical, com uma estação seca bem definida, classificado, segundo Köppen e Geiger, como Aw. O solo onde está implantada a coleção é classificado na classe dos Cambissolos, textura média e eutrófico.

O experimento foi estabelecido em 2014, em blocos ao acaso, com três repetições e três plantas por parcela, espaçados em 5 m (entre linhas) x 3 m (entre plantas na linha). Os tratos culturais consistiram em aplicar uma lâmina d'água de quatro mm a cada dois dias, capinas mensais e adubação de 20 litros de esterco bovino por planta a cada seis meses.

5.2.2 Características avaliadas

Características morfoagronômicas foram avaliadas em duas safras (2019/2020 e 2020/2021). Em cada safra, todas as plantas foram avaliadas quanto à altura (TRH), medida por meio de fita métrica, do solo até a inserção da folha flecha. Durante as safras as folhas emitidas (EMLE) foram avaliadas semanalmente, marcando e identificando cada folha nova e quando esta se tornava a 3ª folha, além de mensurar o comprimento (LEL) médio desta por meio de fita métrica. Os cachos foram colhidos quando mais de 30% dos frutos atingiram a maturação. O número de cachos (NBU) foi obtido pela soma de todos os cachos colhidos por planta, em cada safra. Os frutos foram destacados do cacho, contados e pesados em balança semi-analítica (Triunfo, Max DST 30CD, Brasil). A soma do massa dos frutos (WFR) e do número de frutos (FRN) foi determinada para cada indivíduo por safra. Foram retiradas amostras aleatórias de 20 frutos por cacho, para a determinação do comprimento destes (FRL), por meio de paquímetro digital (Starret, 799, Brasil).

5.2.3 Análises genético-estatísticas

Os dados foram analisados pela metodologia de modelos lineares mistos, algoritmo REML/BLUP. Foram estimados os componentes de variância e preditos os valores genéticos por meio do software R (R Core Team, 2016), com o auxílio do pacote sommer (COVARRUBIAS-PAZARAN, 2016). A partir dos valores genéticos, considerando a intensidade de seleção de 15%, foram estimados os ganhos de seleção direta, indireta e simultâneo (MULAMBA; MOCK, 1978).

Calcularam-se, também, as correlações de Pearson entre os valores genético-aditivos individuais das sete características analisadas com base nas 18 progênies de meios-irmãos. Para a melhor

representação dos resultados foi feita uma figura de rede de correlações, com o auxílio do pacote qgraph (EPSKAMP *et al.*, 2012).

Foi utilizado o modelo $y = Xm + Za + Wp + Ts + e$, em que: y é o vetor de dados, e $y \sim N(Xm, V)$, $V = ZA \sigma_a^2 Z' + WI \sigma_p^2 W' + TI \sigma_s^2 T' + I \sigma_e^2$, σ_a^2 é a variância genética aditiva, σ_p^2 é a variância ambiental entre parcelas, e σ_e^2 é a variância residual; m é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral; a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios), sendo $a \sim N(0, A \sigma_a^2)$; p é o vetor dos efeitos de parcelas (aleatórios), sendo $p \sim N(0, I \sigma_p^2)$; s é o vetor dos efeitos permanentes (aleatórios) $s \sim N(0, I \sigma_s^2)$; e e é o vetor de erros (aleatórios), sendo $e \sim N(0, I \sigma_e^2)$. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As expressões estatísticas para a estimativa de componentes de variância, parâmetros genéticos, valores genéticos aditivos individuais, e ganhos de seleção são apresentadas por (RESENDE, 2007).

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Estimativas dos parâmetros genéticos

A herdabilidade da média das progênes foi elevada, acima de 0,74 (RESENDE, 2002), para todas as características. Entretanto, a herdabilidade individual apresentou valores altos para as folhas emitidas (EMLE) e altura de planta (TRH), enquanto as demais são consideradas moderadas, acima de 0,15 e abaixo de 0,50, conforme (RESENDE, 2002) (TABELA 1).

O coeficiente de variação genética aditiva (CV_{ga}) demonstrou variabilidade genética entre as progênes de *B. capitata* para todas as características avaliadas. O coeficiente de variação relativo foi superior a um para a maioria das características, à exceção da massa dos frutos ($CV_r=0,9729$) e número de cachos ($CV_r=0,8701$), no entanto, ficaram próximo o valor de uma unidade. A diferença entre os valores máximos e mínimos de cada característica indicam variação elevada.

Os coeficientes da variação residual (CV_e) foram inferiores a 10% para folhas emitidas, altura da planta, comprimento da terceira folha e comprimento do fruto (TABELA 1).

As estimativas de acurácia seletiva da média de progênes foram de magnitude alta ($70 > r < 90$) a muito alta (> 90) para todas as características (RESENDE, 2002). Valores favoráveis de acurácia individual foram obtidos para a altura da planta, comprimento da folha e comprimento do fruto (TABELA 1).

Tabela 1 – Estimativas de parâmetros genéticos para características morfoagronômicas avaliadas em famílias de meios irmãos de *B. capitata*: Emissão de folhas (EMLE), altura de planta (TRH), comprimento da terceira folha (LEL), massa dos frutos (WFR), número de frutos (FRN), número de cachos (NBU) e comprimento de fruto (FRL)

(Continua)

Parâmetros	EMLE	TRH	LEL	WFR	FRN	NBU	FRL
h_{mp}^2	0,8751	0,8884	0,7410	0,8788	0,8956	0,9182	0,8654
h_i^2	0,5133	0,6691	0,4163	0,4036	0,4461	0,4223	0,4881
CV_e	7,0434	4,2350	4,6173	36,6643	34,7413	24,9501	3,2437
CV_{ga}	8,2923	10,3877	7,0903	35,6705	38,3892	21,7094	4,6948
CV_r	1,1773	2,4528	1,5356	0,9729	1,1050	0,8701	1,4474
r_{mp}	0,8979	0,9754	0,9607	0,8487	0,8759	0,7836	0,9346

Tabela 1 – Estimativas de parâmetros genéticos para características morfoagronômicas avaliadas em famílias de meios irmãos de *B. capitata*: Emissão de folhas (EMLE), altura de planta (TRH), comprimento da terceira folha (LEL), massa dos frutos (WFR), número de frutos (FRN), número de cachos (NBU) e comprimento de fruto (FRL)

(Conclusão)

r_i	0,3978	0,7767	0,7433	0,3884	0,4510	0,1836	0,6324
Media	19,2849	84,7442	178,3121	13230,8278	1401,5087	11,2791	26,6312
Mínimo	11,0000	55,0000	110,2000	453,5000	88,0000	2,0000	19,7549
Máximo	25,0000	114,0000	239,8667	33000,2000	3794,0000	20,0000	32,3479

* h^2_{mp} : herdabilidade dos efeitos da média das progênes; h^2 : herdabilidade individual r_{mp} : acurácia seletiva da média de progênes; r_i : acurácia seletiva individual; CVga%: coeficiente de variação genética aditiva; CVe%: coeficiente de variação residual; CVr = CVga/CVe = coeficiente de variação relativa.

5.3.2 Correlação e Ganhos de Seleção

Associações importantes foram observadas entre características de produção e vegetativas. O número de cachos, número de frutos e massa dos frutos demonstraram alta correlação entre si e com a altura da planta e comprimento da folha. Por outro lado, folhas emitidas e comprimento dos frutos obtiveram associações muito baixas, próximas de zero (Figura 1).

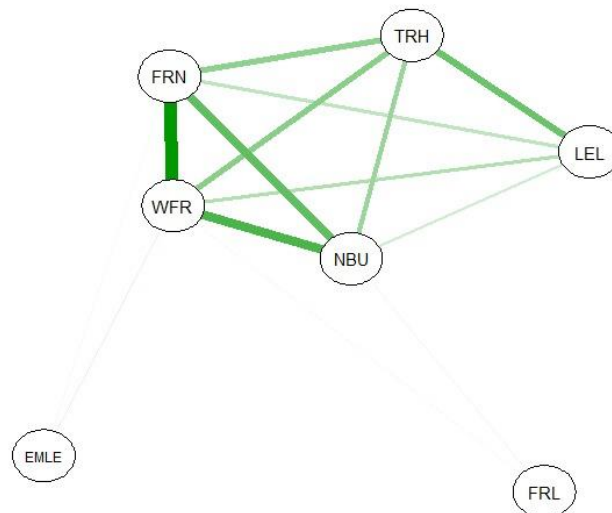


Figura 1 – Dispersão gráfica da matriz de correlação de *Pearson* entre sete descritores morfoagronômicos em 18 progênes de meios-irmãos de coquinho azedo, Montes Claros, Brasil. Linhas verdes indicam as correlações positivas pelo teste t ao nível de 5% de significância. A espessura das linhas é proporcional a magnitude das correlações. Número de frutos (FRN), massa dos frutos (WFR), número de cachos (NBU), altura de planta (TRH), comprimento da folha (LEL), emissão de folhas (EMLE) e comprimento de fruto (FRL)

Todas as características apresentaram estimativas satisfatórias para o ganho de seleção. O número de frutos (FRN) obteve o maior ganho quando foram selecionados 15% dos indivíduos

superiores (GS~48%), enquanto que os menores foram para o comprimento do fruto (GS~6%) e da folha (GS~8%) (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 – Valores genéticos aditivos individuais (a+m) e ganho de seleção (GS%) com a seleção dos melhores indivíduos para quatro caracteres avaliados em famílias de meios irmãos de coquinho azedo

IS(%) ¹	EMLE			TRH			FRL			LEL		
	Indivíduo	a+m	GS (%)	Indivíduo	a+m	GS (%)	Indivíduo	a+m	GS (%)	Indivíduo	a+m	GS (%)
0,62	BO476B2A2	22,03	14,23	ICA51B2A1	99,84	17,82	MIGRB3A2	29,59	11,09	ICA44B2A3	200,65	12,52
1,23	BO480B1A1	21,59	13,08	ICA44B2A1	98,73	17,16	MIGRB1A2	28,85	9,71	ICA44B1A2	199,40	12,18
1,85	MIDOB1A3	21,30	12,20	ICA81B2A1	98,03	16,66	BO478B3A2	28,52	8,84	ICA92B2A1	196,49	11,52
2,47	BO171B3A2	21,17	11,59	ICA74B2A2	97,59	16,29	BO480B1A3	28,30	8,19	MIGRB3A2	196,34	11,16
3,09	MIDOB1A2	20,97	11,02	ICA74B1A3	97,34	16,00	MIGRB1A3	28,21	7,74	ICA92B2A2	194,95	10,80
3,70	MIDOB3A2	20,88	10,56	MIDOB2A2	97,01	15,75	BO478B2A2	28,11	7,38	ICA92B1A1	194,15	10,48
4,32	BO478B3A2	20,84	10,21	MIGRB3A2	96,15	15,42	BO478B1A1	28,01	7,06	ICA51B1A2	193,21	10,18
4,94	MIDOB2A1	20,72	9,86	ICA92B1A1	95,87	15,13	BO479B2A2	27,96	6,80	ICA51B2A1	192,49	9,90
5,56	ICA81B2A1	20,68	9,57	BO477B1A3	95,47	14,86	MIGRB1A1	27,96	6,60	ICA74B2A1	190,67	9,57
6,17	BO480B2A1	20,68	9,33	ICA92B2A1	95,37	14,63	MI474B3A1	27,92	6,42	ICA51B2A2	189,71	9,25
6,79	ICA83B1A2	20,63	9,12	ICA81B1A1	95,15	14,41	ICA74B2A3	27,91	6,27	BO479B2A2	189,47	8,98
7,41	ICA83B1A3	20,63	8,94	BO151B3A1	95,15	14,24	BO477B1A3	27,82	6,13	ICA44B1A3	188,73	8,72
14,81	MIGRB1A1	20,28	7,38	ICA74B3A1	89,52	11,52	ICA74B1A3	27,32	4,65	MIGRB1A1	185,41	6,75
30,25	ICA83B3A3	19,90	5,65	BO171B2A2	87,77	8,27	MI474B2A3	26,87	3,02	ICA74B3A2	181,23	4,76
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
100,00	MIROB3A2	15,48	0,00	MI474B2A1	67,52	0,00	MIDOB2A1	24,54	0,00	MIDOB3A2	155,42	0,00

¹Porcentagem de indivíduos selecionados (%)

Tabela 3 – Valores genéticos aditivos individuais (a+m) e ganho de seleção (GS%) com a seleção dos melhores indivíduos para três caracteres avaliados em famílias de meios irmãos de coquinho azedo

IS(%) ¹	WFR			FRN			NBU		
	Indivíduo	a+m	GS (%)	Indivíduo	a+m	GS (%)	Indivíduo	a+m	GS (%)
0,62	ICA51B2A1	21831,88	65,01	ICA51B2A1	2631,73	87,78	BO478B2A3	14,85	31,62
1,23	ICA51B2A3	20800,01	61,11	ICA51B2A3	2334,51	77,17	ICA81B2A1	14,29	29,17
1,85	BO478B2A3	20608,56	59,33	ICA51B1A2	2170,47	69,74	ICA51B1A2	14,26	28,26
2,47	BO478B2A1	20418,97	58,08	ICA81B1A1	2128,16	65,27	ICA51B2A1	14,22	27,72
3,09	ICA51B1A2	20142,82	56,91	ICA81B2A1	2111,40	62,34	ICA44B1A1	14,17	27,30
3,70	BO480B1A2	19550,25	55,39	BO478B2A1	2063,42	59,82	ICA44B2A2	14,09	26,91
4,32	ICA81B2A1	18301,53	52,95	BO480B1A2	2014,76	57,53	ICA51B1A1	14,00	26,51
4,94	ICA51B1A1	17838,74	50,68	BO479B1A1	2013,90	55,80	ICA44B1A2	13,90	26,10
5,56	BO479B1A1	17736,61	48,84	BO478B2A3	1991,65	54,28	ICA44B1A3	13,90	25,79
6,17	BO477B1A3	17672,78	47,31	BO477B2A1	1956,95	52,81	ICA44B2A1	13,83	25,47
6,79	BO477B2A1	17665,07	46,06	BO478B3A1	1896,56	51,22	BO480B1A2	13,62	25,04
7,41	BO171B2A2	17269,44	44,76	ICA44B1A1	1877,81	49,79	ICA44B2A3	13,56	24,64
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
14,81	BO478B1A2	15390,72	34,33	ICA81B1A3	1688,82	38,77	BO479B2A2	12,85	20,70
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
30,25	ICA74B2A3	14094,37	22,63	BO479B2A2	1495,20	25,49	BO171B3A1	12,11	15,39
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
100,00	MIROB3A2	7314,85	0,00	MIROB3A2	737,57	0,00	BO479B2A1	7,27	0,00

¹Porcentagem de indivíduos selecionados (%).

As características de produção apresentaram estimativas de ganhos percentuais de seleção direta mais elevadas que as vegetativas (Tabela 4). Quando a seleção é direcionada para maior massa dos frutos ou altura da planta, as estimativas de ganho indireto foram favoráveis para todas as características. Com base na média dos ranks, o número e massa dos frutos possuem índices superiores de ganho de seleção. A seleção simultânea para tais características possibilita estimativas de ganho favoráveis para todas as demais.

Tabela 4 – Ganhos de seleção diretos (valores em negrito), indiretos e simultâneos (considerando a média dos ranks) para a porcentagem de seleção de 15% para sete características avaliadas em famílias de meios irmãos (n=18) de coquinho azedo

Critério de seleção	Ganhos de seleção (IS=15%)						
	EMLE	TRH	LEL	WFR	FRN	NBU	FRL
EMLE	7,385	0,771	-0,255	5,183	4,251	2,550	0,369
TRH	0,214	11,522	4,347	13,038	12,089	10,048	1,085
LEL	-2,663	7,327	6,753	6,274	6,055	4,304	0,164
WFR	1,063	4,706	2,069	34,327	35,254	14,695	0,628
FRN	1,034	4,812	2,293	32,703	38,768	13,741	-0,537
NBU	-1,163	5,547	2,576	18,325	18,854	20,701	0,132
FRL	1,606	2,280	0,987	1,781	-5,349	2,833	4,653
Mulamba Mock	1,924	6,876	3,424	28,262	28,905	15,082	1,157

¹Características: Número de frutos (FRN), massa dos frutos (WFR), número de cachos (NBU), altura de planta (TRH), comprimento da folha (LEL), emissão de folhas (EMLE) e comprimento de fruto (FRL).

Foram selecionados 13 genótipos, dentre todos os avaliados, aplicando um índice de seleção de 15% pela metodologia de Mulamba & Mock. São eles: BO478B2A3, ICA51B1A2, ICA51B2A1, BO477B1A3, ICA81B2A1, ICA51B1A1, BO171B2A2, BO478B1A1, BO478B2A1, MIDOB2A2, BO479B2A2, BO480B1A2, BO478B3A1 (Figura 2).

produto comercial de *B. capitata*. O valor baixo do coeficiente de variação residual (CV_e) para características vegetativas e moderado para as produtivas indicam boa qualidade experimental. Além disso, desse cenário resultaram estimativas do coeficiente de variação relativo (CV_r) próximos ou superiores a 1 para todas as características avaliadas, demonstrando alto controle genético para as características avaliadas. Esses resultados são superiores aos obtidos para *B. gasipaes*, uma vez que o CV_r para número, massa média e massa total dos cachos, é de aproximadamente 0,20 (FARIAS NETO; CLEMENT; RESENDE, 2013). Também o CV_r de *B. capitata* são maiores que em *A. aculeata* para a altura da planta e comprimento da folha, com valores de 0,46 e 0,43, respectivamente (LUSTRI *et al.*, 2021). A confirmação de variabilidade genética para as características avaliadas demonstra a possibilidade de ganhos de seleção nas próximas fases do melhoramento, permitindo uma seleção bem-sucedida de progênies promissoras de *B. capitata*.

Os valores altos de acurácia em nível de média de progênies denotam expressiva precisão do experimento. Esse parâmetro considera a correlação entre os valores genéticos previstos e os valores genéticos reais dos indivíduos (RESENDE, 2002). Resultados similares com acurácias de progênies altas (acima de 0,7) são detectados também na palmeira *A. aculeata* para altura da planta, número e comprimento da folha e produtividade de frutos (ROSADO *et al.*, 2019; LUSTRI *et al.*, 2021). Os valores de acurácia demonstram alta qualidade experimental e, portanto, credibilidade e segurança na seleção de genótipos superiores para as características avaliadas.

Características vegetativas estão bastante associadas à produção de frutos em *B. capitata*. A correlação entre a altura da planta e as características de produção, massa dos frutos, número de frutos e número de cachos, é positiva e significativa. Comportamento similar é relatado para a própria *B. capitata* e outras palmeiras, uma vez que, principalmente, a altura da planta apresenta correlação considerável com o massa do cacho, número de frutos por cacho e produção por planta (OLIVEIRA *et al.*, 2000; SAMPAIO; SCARIOT, 2008; SILVA; SCARIOT, 2013; SOUZA, 2016). O maior tamanho das plantas favorece a captação de recursos mais expressiva, incluindo aqueles requeridos no processo reprodutivo (CUNNINGHAM, 1997), o que torna a característica altura de plantas uma ferramenta importante para seleção de genótipos ainda na fase juvenil em *B. capitata*.

A identificação de progênies, cujos valores genotípicos são superiores à média, é essencial para a seleção de indivíduos que atendam ao ideótipo de maior produção potencial. Paralelamente, plantas mais altas e com folhas maiores têm provável efeito sobre a produtividade. A seleção para o maior massa dos frutos proporciona elevados ganhos diretos, bem como ganhos indiretos favoráveis para as demais características avaliadas. Entretanto, o índice de seleção baseado na média dos ranks indica a viabilidade da seleção simultânea na população, com destaque para as principais características de interesse comercial que são número de frutos e massa dos frutos. Esse índice tem demonstrado efetividade na seleção simultânea em arecaceae, principalmente em estudos que reúnem características semelhantes aos deste trabalho (COSTA *et al.*, 2018; MANFIO *et al.*, 2012; TEIXEIRA *et al.*, 2012), e superioridade em relação ao índice clássico (TEIXEIRA *et al.*, 2012).

Aplicando um índice de seleção de 15%, as progênies BO478, ICA51, BO477, ICA81, BO171, MIDO, BO479 e BO480 se destacaram. Indivíduos dessas famílias podem ser utilizados para a formação de um novo ciclo de seleção. O avanço de gerações permitirá, por meio de cruzamentos entre genitores divergentes e produtivos, obter populações segregantes que reúnam maior número de características

favoráveis.

5.5 CONCLUSÕES

Estimativas de herdabilidade individual variam de mediana a alta para todos os caracteres avaliados, comprovadas pelos valores das acurácias, indicam elevada possibilidade de seleção.

A estratégia utilizada (REML/BLUP) foi eficaz na identificação genótipos superiores. Portanto, pode ser aplicada de forma eficiente em um programa de melhoramento de *B. capitata*.

As progênes ICA51 e BO478 se destacaram, indicando maior número de indivíduos na seleção simultânea para produção de frutos e vigor da planta.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. C. S. *et al.* Volatile compounds from fruits of *Butia capitata* at different stages of maturity and storage. **Food Research International**, 2014.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ANDRADE, E. K. V. de *et al.* Genetic dissimilarity among sweet potato genotypes using morphological and molecular descriptors. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 4, p. 447, 11 ago. 2017.
- AOAC. **Official methods of analysis**. 15. ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- BARCELOS, E.; AMBLARD, P. **Oil palm breeding program at EMBRAPA/BRASIL**. Manaus: Embrapa, 1992.
- BECCARI, O. Il genere *Cocos* Linn. e le palme affini. **Agricoltura Coloniale**, v. 10, n. 2, p. 489–524, 1916.
- BEDJAOUI, H.; BENBOUZA, H. Assessment of phenotypic diversity of local Algerian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, n. 1, p. 65–75, 1 jan. 2020.
- BERGO, C. L. *et al.* Genetic parameters to production characters of palm heart in half-sibs progenies of palm peach. **Ciência Rural**, v. 49, n. 7, p. 7, 10 jul. 2019.
- BORGES, C. V. *et al.* Seleção entre e dentro de progênes para a produção de frutos de pupunha. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 2, p. 177–184, 4 out. 2017.
- BUTTOW, M. V. *et al.* Caracterização molecular de populações de *Butia capitata* (Arecaceae) do Sul do Brasil através de marcadores AFLP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 230–239, 29 jan. 2010.
- CARVALHO, M. S. *et al.* Genetic diversity and population structure of *Euterpe edulis* by REML/BLUP analysis of fruit morphology and microsatellite markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 4, p. 1–9, 11 dez. 2020.
- CNCFLORA. **Butia capitata in Lista Vermelha da flora brasileira**. Disponível em: [http://cncflora.jbrj.gov.br/porta1/pt-br/profile/Butia capitata](http://cncflora.jbrj.gov.br/porta1/pt-br/profile/Butia%20capitata). Acesso em: 19 nov. 2021.
- CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. H. **The oil palm**. 5th ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2015.
- CORTES, D. F. M. *et al.* Model-assisted phenotyping by digital images in papaya breeding program. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 4, p. 294–302, 1 jul. 2017.

- 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.
- COVARRUBIAS-PAZARAN, G. Genome-Assisted Prediction of Quantitative Traits Using the R Package sommer. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, p. e0156744, 1 jun. 2016.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: UFV, 2012.
- CUNNINGHAM, S. A. The effect of light environment, leaf area, and stored carbohydrates on inflorescence production by a rain forest understory palm. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 36–44, jun. 1997.
- DIAS, W. P. A. **Emissão de inflorescência, biologia reprodutiva e armazenamento de grãos de pólen em butia capitata (mart.) Becc sob condições de cultivo**. [s.l.] UFMG, 2018.
- 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, 1 set. 2015.
- EL KADRI, N.; MIMOUN, M. BEN; HORMAZA, J. I. Genetic diversity of Tunisian male date palm (*Phoenix dactylifera* L.) genotypes using morphological descriptors and molecular markers. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 24–34, 27 jul. 2019.
- ELSAFY, M.; GARKAVA-GUSTAVSSON, L.; MUJAJU, C. Phenotypic Diversity of Date Palm Cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) from Sudan Estimated by Vegetative and Fruit Characteristics. **International Journal of Biodiversity**, v. 2015, p. 1–7, 30 dez. 2015.
- EPSKAMP, S. *et al.* qgraph: Network Visualizations of Relationships in Psychometric Data. **Journal of Statistical Software**, v. 48, p. 1–18, 24 maio 2012.
- FAJARDO, C. G. *et al.* Research Article Genetic and phenotypic association of the carnauba palm tree evaluated by inter-simple sequence repeat and biometric traits. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 3, 2018.
- FARIA, J. P. *et al.* Caracterização da polpa do coquinho-azedo (*Butia capitata* var *capitata*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 827–829, 2008.
- FARIAS NETO, J. T. DE; CLEMENT, C. R.; RESENDE, M. D. V. DE. Estimativas de parâmetros genéticos e ganho de seleção para produção de frutos em progênies de polinização aberta de pupunheira no estado do Pará, Brasil. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 122–126, abr. 2013.
- FARIAS NETO, J. T. de; RESENDE, M. D. V. de. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 320–324, ago. 2001.
- GAIERO, P. *et al.* Genetic diversity among endangered Uruguayan populations of *Butia Becc.* species based on ISSR. **Plant Systematics and Evolution**, v. 292, n. 1–2, p. 105–116, 1 mar. 2011.
- GAVIÃO, C. *et al.* **Análise genética em populações de *Butia eriospatha* (Mart. ex Drude) Becc utilizando marcadores moleculares RAPD**. Brasília: Embrapa, 2007.
- HEIDEN, G.; ELLERT-PEREIRA, P. E.; ESLABÃO, M. P. **Butia in Flora do Brasil 2020**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15704>. Acesso em: 28 dez. 2021.
- HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **Field Guide to the Palms of the Americas**. Ewing; New Jersey, U.S.A: Princeton University Press, 1995.
- KHADIVI, A. *et al.* Phenotypic and fruit characterizations of *Prunus divaricata* Ledeb. germplasm from the north of Iran. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 109033, 5 fev. 2020.

- LORENZI, H. *et al.* **Flora Brasileira - ARECACEAE (Palmeiras)**. 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010.
- LUSTRI, E. A. *et al.* Estimates of genetic parameters for juvenile traits in macaw palm. **Bragantia**, v. 80, 3 maio 2021.
- MAGALHÃES, H. M. *et al.* Genetic diversity of endangered populations of *Butia capitata*: Implications for conservation. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 11, p. 888–900, 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, 30 mar. 2012.
- MEEROW, A. W. *et al.* Phylogenetic Analysis of Seven WRKY Genes across the Palm Subtribe Attaleinae (Arecaceae) Identifies *Syagrus* as Sister Group of the Coconut. **PLoS ONE**, v. 4, n. 10, p. e7353, 6 out. 2009.
- MERCADANTE-SIMÕES, M. O. *et al.* Reproductive biology of *Butia Capitata* (Mart.) Beccari (Arecaceae) in a savanna area of the north of Minas Gerais, Brazil. **Unimontes Científica**, v. 8, n. 2, p. 144–149, 2006.
- MISTURA, C. C. *et al.* Descriptors for Butiá [*Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick]. 2015. p. 44.
- MOHAMMADI, R. *et al.* Morphological characterization of *Prunus microcarpa* Boiss. germplasm: Implications for conservation and breeding. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 718–725, fev. 2019.
- MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359–363, 1 abr. 1977.
- MORAES, L. A.; MACHADO, R. R. B.; ARAÚJO, M. DE F. V. O babaçu na zona urbana de Teresina – PI: distribuição e viabilidade paisagística. **Revista Equador**, v. 4, n. 4, p. 112–132, 16 dez. 2015.
- MOURA, R. C. *et al.* Biometria de frutos e sementes de *Butia capitata* (Mart.) Beccari (Arecaceae), em vegetação natural no Norte de Minas Gerais, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 2, p. 415–419, 2010.
- MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the ETO blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits [Mexico]. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, n. 1, p. 40–51, 1978.
- MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.
- NAIR, K. P. The Coconut Palm (*Cocos nucifera* L.). *In*: **Tree Crops**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 79–128.
- NIETSCHKE, S. *et al.* Variability in reproductive traits in *Jatropha curcas* L. accessions during early developmental stages under warm subtropical conditions. **GCB Bioenergy**, v. 7, n. 1, p. 122–134, 1 jan. 2015.
- NOBLICK, L. R. *Butia* (Becc.) Becc. *In*: **Flora Brasileira Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Plantarum, 2010. p. 159–183.
- NUNES, A. M. *et al.* Caracterização molecular de butiazeiro por marcadores RAPD. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 702–707, set. 2008.
- OLIVEIRA, M. do S. P. de *et al.* Diversidade genética entre acessos de açazeiro baseada em marcadores RAPD. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1645–1653, dez. 2007.
- OLIVEIRA, M. do S. P. de; FARIAS NETO, J. T. de. Seleção massal em açazeiros para a produção de fruto. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 49, p. 145–156, 2008.

- OLIVEIRA, M. do S. P. de; FERREIRA, D. F.; SANTOS, J. B. dos. Divergência genética entre acessos de açazeiro fundamentada em descritores morfoagronômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 501–506, abr. 2007.
- OLIVEIRA, J. A. A. *et al.* Estimation of genetic parameters and selection for rooting capacity in peach. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 320–324, set. 2018.
- OLIVEIRA, M. D. S. P. *et al.* Correlações fenotípicas entre caracteres vegetativos e de produção de frutos em açazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 1, p. 1–5, 2000.
- OLIVEIRA, N. C. C. *et al.* Seed structure, germination, and reserve mobilization in *Butia capitata* (Arecaceae). **Trees**, v. 27, n. 6, p. 1633–1645, 26 jul. 2013.
- ORELLANA, J. S. T. *et al.* Evaluation and selection in half-sib progenies of *Physalis ixocarpa* Brot. aiming to increase productivity. **Scientia Horticulturae**, v. 290, p. 110531, 15 dez. 2021.
- PIVETTA, K. F. L. *et al.* Conservation and use of palm trees in Brazil's landscaping. **Acta Horticulturae**, v. 881, p. 1031–1034, 25 nov. 2010.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2002.
- RESENDE, M. D. V. DE. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2007.
- RESENDE, M. D. V. DE. **Genética Quantitativa e de Populações**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2015.
- RIBEIRO, F. E. *et al.* Divergência genética entre populações de coqueiro-gigante-do-Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 9, p. 1615–1622, 1999.
- RIVAS, M.; BARILANI, A. Diversidad, potencial productivo y reproductivo de Los Palmares de *Butia capitata* (Mart.) becc. de Uruguay. **Agrociencia**, v. 8, n. 1, p. 11–20, 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, 5 abr. 2019.
- ROSSATO, M.; *et al.* Molecular characterization of palm populations of the butia genus from Rio Grande do Sul state using ISSR markers. **Magistra**, v. 19, n. 4, p. 311–318, 2007.
- SÁ, D.; SCARIOT, A.; FERREIRA, J. B. Effects of ecological and anthropogenic factors on population demography of the harvested *Butia capitata* palm in the Brazilian Cerrado. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1571–1588, 22 nov. 2018.
- SAMPAIO, M. B.; SCARIOT, A. Growth and reproduction of the understory palm *Geonoma schottiana* Mart. in the gallery forest in Central Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 31, n. 3, p. 433–442, 2008.
- SILVA, P. A. D.; SCARIOT, A. Phenology, biometric parameters and productivity of fruits of the palm *Butia capitata* (Mart.) Beccari in the Brazilian cerrado in the north of the state of Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, n. 3, p. 580–589, jul. 2013.
- SINGH, D. The Relative Importance of Characters Affecting Genetic Divergence. **Indian Journals of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237–245, 1981.
- SOARES, K. P. Le genre *Butia*. **Princeps**, v. 1, 2015.
- SOBRAL, K. M. B. *et al.* Diversidade genética entre acessos de coqueiro-gigante. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 28–39, 2018.

SOBRAL, K. M. B. *et al.* Há variabilidade genética em acessos de coqueiro-anão conservados no Brasil? **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 52–61, 9 maio 2019.

SOH, A. C.; MAYES, S.; ROBERTS, J. A. **Oil palm breeding: genetics and genomics**. Boca Raton: CRC Press, 2017.

SOUSA, A. M. de; OLIVEIRA, M. do S. P. de; FARIAS NETO, J. T. de. Genetic divergence among white-type acai palm accessions based on morpho-agronomic characters. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 751–760, set. 2017.

SOUZA, A. P. R. **Desempenho agronomico do coquinho azedo em cinco safras**. Montes Claros: UFMG, 2016.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 99, 23 abr. 2017.

TEIXEIRA, D. H. L. *et al.* Índices de seleção no aprimoramento simultâneo dos componentes da produção de frutos em açazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 237–243, 2012.

VIEIRA, B. M. *et al.* The synthesis and characterization of *Butia capitata* seed oil as a FAME feedstock. **Fuel**, v. 184, p. 533–535, 2016.