



Análise Gráfica *Biplot* na Seleção de Genótipos de Cajueiro



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
238**

**Análise Gráfica *Biplot* na Seleção
de Genótipos de Cajueiro**

Dheyne Silva Melo
Maria Clideana Cabral Maia
Francisco das Chagas Vidal Neto
Levi de Moura Barros
Cosme Damião Cruz
Luís Cláudio de Oliveira
Lúcio Borges de Araújo
Luciano Macedo Medina
Paulo Sarmanho Lima e Silva
Luiz Augusto Lopes Serrano

Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2022

Unidade responsável pelo conteúdo e pela edição:

Embrapa Agroindústria Tropical
Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (85) 3391-7100
Fax: (85) 3391-7109
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente
Antônio Genésio Vasconcelos Neto

Secretária-executiva
Celli Rodrigues Muniz

Secretária-administrativa
Eveline de Castro Menezes

Membros
Afrânio Arley Teles Montenegro, Ana Cristina Portugal Pinto de Carvalho, Christiana de Fátima Bruce da Silva, Francisco Nelsieudes Sombra Oliveira, José Roberto Vieira Júnior, Laura Maria Bruno, Roselayne Ferro Furtado, Sandra Maria Morais Rodrigues

Revisão de texto
José Cesamildo Cruz Magalhães

Normalização bibliográfica
Rita de Cassia Costa Cid

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Edição eletrônica
José Cesamildo Cruz Magalhães

Foto da capa
Francisco das Chagas Vidal Neto

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Análise gráfica *biplot* na seleção de genótipos de cajueiro / Maria Clideana Cabral Maia... [et al.]. – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2022.

23 p. : il. ; 16 cm x 22 cm – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 238).

Publicação disponibilizada on-line no formato PDF.

1. *Anacardium occidentale*. 2. *Anacampsis phytomiella*. 3. *Erysiphe quercicola*. 4. Análise multivariada. 5. Melhoramento genético. I. Melo, Dheyne Silva. II. Maia, Maria Clideana Cabral. III. Vidal Neto, Francisco das Chagas. IV. Barros, Levi de Moura. V. Cruz, Cosme Damião. VI. Oliveira, Luís Cláudio de. VII. Araújo, Lúcio Borges de. VIII. Medina, Luciano Macedo. IX. Lima e Silva, Paulo Sarmanho. X. Serrano, Luiz Augusto Lopes. XI. Série.

CDD 634.573

Sumário

Resumo.....	4
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	12
Conclusões.....	20
Agradecimentos.....	20
Referências.....	21

Análise Gráfica *Biplot* na Seleção de Genótipos de Cajueiro

Dheyne Silva Melo¹

Maria Clideana Cabral Maia²

Francisco das Chagas Vidal Neto³

Levi de Moura Barros⁴

Cosme Damião Cruz⁵

Luís Cláudio de Oliveira⁶

Lúcio Borges de Araújo⁷

Luciano Macedo Medina⁸

Paulo Sarmanho Lima e Silva⁹

Luiz Augusto Lopes Serrano¹⁰

Resumo - O Brasil possui uma das maiores biodiversidades do mundo em fruteiras nativas, dentre elas se destaca o cajueiro, que é cultivado como um componente em vários arranjos (monocultivo, consorciado e em esquemas de Sistemas Agroflorestais – SAFs) em sistemas de produção. As variáveis produtivas e de reação a pragas e doenças são os principais alvos do programa de melhoramento genético do cajueiro. O comportamento das correlações entre essas variáveis se constitui em uma ferramenta eficaz no processo seletivo da cultura e que pode ser estudado corretamente com o emprego do procedimento estatístico gráfico *biplot*. A análise de correlações

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

² Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, professor da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG

⁶ Engenheiro Florestal, mestre em Ciências de Florestas Tropicais, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

⁷ Matemático, doutor em Ciências Exatas, professor da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG

⁸ Engenheiro Florestal, doutor em em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Universidade Federal do Paraná – UFP, Paraná, PR

⁹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

¹⁰ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

permite uma seleção indireta de um caráter de difícil mensuração a partir de um outro de fácil medição e menos sujeito a erros de mensuração. O objetivo deste trabalho foi realizar uma seleção precoce em uma população segregante de cajueiro por meio da análise gráfica *biplot* para as variáveis de produção e reação à traça-da-castanha e ao oídio. Foram avaliados os seguintes caracteres: produtividade de castanha (PROD), massa média de castanha (MMC), porcentagem de castanhas furadas pela traça-da-castanha (PCF) e severidade do oídio na castanha (SO). O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados com 49 progênies experimentais. Os componentes principais, o gráfico *biplot* e as correlações simples foram obtidos empregando-se o software R (2021). A partir das estimativas das correlações simples, houve correlações positivas entre PROD e SO e entre MMC e PCF. O procedimento *biplot* mostrou comportamento similar ao das correlações simples quanto à tendência, em mesma direção, esperada entre PROD e MMC e resistência à praga e à doença estudadas e, em parte, divergente quanto ao comportamento oposto e ideal entre PROD e PCF, MMC e SO e MMC e PCF. As progênies identificadas como 1, 10, 12, 14, 15, 16, 35, 38, 39 e 44 apresentaram altos valores de MMC e baixos de PCF, simultaneamente, mostrando bom potencial para serem consideradas em uma seleção direta de indivíduos, para compor um segundo ciclo de seleção recorrente, como também para compor um esquema de cruzamentos do programa de melhoramento genético do cajueiro. Já as progênies 33 e 31, que se mostraram mais suscetíveis ao oídio, apareceram como as mais produtivas, simultaneamente, mostrando uma correlação positiva indesejável entre essas variáveis para esta população no ambiente considerado.

Termos para indexação: *Anacardium occidentale* L., análise multivariada, melhoramento genético, *Anacampsis phytomiella*, *Erysiphe quercicola*.

Biplot Graphic Analysis in the Selection of Cashew Tree Genotypes

Abstract - Brazil has one the largest biodiversity in native fruit trees and amongst them cashew stands out, cultivated as a component in various arrangements (monoculture, consociation and agroforestry systems schemes) into production systems. The productive variables and reaction to pests and diseases are the main goals of the improvement of the cashew tree. The behavior of correlations among these variables consists of an effective tool in the selection process of the cashew crops that can be correctly studied with the use of statistical graphical proceeding biplot. Correlation analysis allows an indirect selection of a character that is difficult to measure from another that is easy to measure and less subject to measurement. This work had an objective to promote an early selection in a segregant population of cashew tree through biplot graphical analyses to the variables the production and reaction to nut moth and powdery mildew. The following characters were evaluated: cashew nut yield (PROD), mean cashew nut massiness (MMC), percentage of nuts pierced by the nut moth (PCF), and damage caused by powdery mildew (SO) in cashew. An experimental design of randomised blocks was used with 49 experimental progenies. The principal's components, biplot graph and simple correlations were obtained using the R software (2021). The estimations showed a positive correlation between PROD and SO, and between MMC and PCF. The biplot demonstrated a similar behavior in relation of the simple correlations regarding the direction waited between productivity and resistance to pathogens. In part demonstrated divergences in relation to the opposite and ideal behavior between productivity and PCF, MMC and PCF, MMC and SO. Cashew trees progenies identified as 1, 10, 12, 14, 15, 16, 35, 38, 39 and 44 display high values for MMC and low values for PCF, showing good potential for consideration in the direct selection of individuals to form a second selection cycle, in addition to comprising a crossbreeding scheme for the cashew breeding program. The progenies 33 and 31 that's presented more susceptible to powdery mildew showed simultaneously as the most productive showing an undesirable positive correlation between these variables for this population in the considered environment.

Index terms: *Anacardium occidentale* L., multivariate analysis, genetic improvement, *Anacampsis phytomiella*, *Erysiphe quercicola*.

Introdução

Dentre as principais frutíferas nativas cultivadas no Brasil, destaca-se o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), plantado em cerca de 430 mil hectares, notadamente na região Nordeste do país (IBGE, 2022). Atualmente, os principais problemas fitossanitários da cultura são a praga conhecida como traça-das-castanhas (*Anacampsis phytomiella*) (Dias-Pini et al., 2021) e a doença oídio do cajueiro (*Erysiphe quercicola* S. Takam & U. Braun) (Lima et al., 2019). Ambos os problemas prejudicam diretamente a qualidade do principal produto da cultura, a castanha-de-caju, cuja amêndoa é comercializada e consumida em todos os continentes (Mesquita; Braga Sobrinho, 2013; Cardoso et al., 2013).

O melhoramento genético de frutíferas é um processo evolutivo e continuado, na busca e geração constante de cultivares que reúnam atributos produtivos e tecnológicos importantes para atender as demandas dinâmicas dos produtores, dos consumidores, da indústria e dos distribuidores, simultaneamente. Para atingir esses objetivos, novas adaptações genéticas às condições de frequentes oscilações abióticas e flutuações bióticas são sucessivamente procuradas pelos melhoristas. Nesse sentido, Melo et al. (2018) destacaram que no programa de melhoramento genético do cajueiro no Brasil as principais características avaliadas, de importância econômica, são a produção por planta, precocidade em produção, porte e arquitetura da planta, período de frutificação, resistência/tolerância à restrição hídrica, resistência às principais pragas e doenças e qualidades da castanha (amêndoa) e do pedúnculo.

A análise dos níveis de correlação, presentes entre as variáveis de interesse de um programa de melhoramento, pode ser feita empregando-se as estimativas dos coeficientes de correlação simples e parciais, análise de trilha e análise gráfica *biplot*. A primeira fornece uma estimativa única da associação entre duas características; a segunda permite uma estimativa das correlações parciais entre dois caracteres, removendo-se os efeitos das demais variáveis sobre a associação estudada; e a terceira permite uma análise mais detalhada, desdobrando os efeitos diretos e indiretos dos caracteres sobre uma variável básica (Cruz; Regazzi, 2001). Contudo, para

Silva Filho et al. (2009), apenas a análise *biplot* permite identificar quais genótipos têm melhor desempenho para as características avaliadas.

A técnica *biplot* é gerada a partir de componentes principais da matriz, em que as variáveis e os genótipos pesquisados são considerados, simultaneamente, constituindo-se em uma análise gráfica precisa, robusta e integrada (Maia et al., 2016). A análise gráfica identifica, de forma prática, os genótipos com melhor desempenho para as variáveis avaliadas, permitindo uma seleção mais rigorosa e a obtenção de ganhos genéticos desejáveis (Oliveira, 2019).

Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma seleção precoce em uma população segregante de cajueiro por meio da análise gráfica *biplot* para as variáveis de produção e reação à traça-da-castanha e ao oídio.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical, localizado no município de Pacajus, CE, nas coordenadas geográficas 4°10'22" de latitude Sul e 38°27'39" de longitude Oeste e 60 m de altitude. O solo da área experimental é um Podzólico Vermelho Amarelo Tb Eutrófico A fraco, com textura arenosa média. Segundo a classificação climática de Thornthwaite, o clima é do tipo seco/subúmido, apresentando valores médios anuais de precipitação pluvial em torno de 1.100 milímetros (mm) e temperatura média de 26,5 °C.

As 49 progênies (oriundas de polinização aberta) pesquisadas foram obtidas a partir da coleta de sementes de plantas matrizes selecionadas fenotipicamente em áreas de produção comercial (plantios segregantes) nos municípios de Beberibe e Cruz (CE), Serra do Mel (RN), Araguaína (TO) e Belém (PA), com o objetivo de ampliar a base genética do programa de melhoramento do cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical (Tabela 1). Os principais caracteres utilizados na seleção estavam relacionados à produção (produtividade e massa de castanhas) (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação e origem das 49 progênes de cajueiro de meios-irmãos.

Parcela	Tratamento	Progênie	Origem
101/201	1	CNPAT 2004/01	Beberibe – Fazenda Jacaju Caju do futuro
102/202	2	CNPAT 2004/03	Serra do Mel – RN
103/203	3	CNPAT 2004/04	Serra do Mel – RN
104/204	4	CNPAT 2004/05	Serra do Mel – RN
105/205	5	CNPAT 2004/06	Serra do Mel – RN
106/206	6	CNPAT 2004/07	Serra do Mel – RN
107/207	7	CNPAT 2004/08	Serra do Mel – RN
108/208	8	CNPAT 2004/09	Serra do Mel – RN
109/209	9	CNPAT 2004/10	Serra do Mel – RN
110/210	10	CNPAT 2004/11	Serra do Mel – RN
111/211	11	CNPAT 2004/12	Serra do Mel – RN
112/212	12	CNPAT 2004/13	Serra do Mel – RN
113/213	13	CNPAT 2004/14	Serra do Mel – RN
114/214	14	CNPAT 2004/15	Serra do Mel – RN
115/215	15	CNPAT 2004/16	Serra do Mel – RN
116/216	16	CNPAT 2004/17	Serra do Mel – RN
117/217	17	CNPAT 2004/18	Serra do Mel – RN
118/218	18	CNPAT 2004/19	Serra do Mel – RN
119/219	19	CNPAT 2004/21	Serra do Mel – RN
120/220	20	CNPAT 2004/22	Beberibe – Granja Soever

Tabela 1. Identificação e origem das 49 progênes de cajueiro de meios-irmãos.

Parcela	Tratamento	Progênie	Origem
121/221	21	CNPAT 2004/23	Beberibe – Granja Soever
122/222	22	CNPAT 2004/24	Beberibe – Granja Soever
123/223	23	CNPAT 2004/25	Beberibe – Granja Soever
124	24	CNPAT 2004/27	Beberibe – Granja Soever
125	25	CNPAT 2004/31	Beberibe – Granja Soever
126	26	CNPAT 2004/32	Beberibe – Granja Soever
127	27	CNPAT 2004/33	Beberibe – Granja Soever
128	28	CNPAT 2004/35	Beberibe – Granja Soever
129	29	CNPAT 2004/36	Cruz – Ceará
130	30	CNPAT 2004/02	Serra do Mel – RN (fácil despeliculagem)
131	31	CNPAT 2004/37	Cruz – Ceará
132	32	CNPAT 2004/38	Cruz – Ceará
133	33	CNPAT 2004/39	Cruz – Ceará
134	34	CNPAT 2004/42	Cruz – Ceará
135	35	CNPAT 2004/43	Cruz – Ceará
136	36	CNPAT 2004/44	Cruz – Ceará
137	37	CNPAT 2004/46	Cruz – Ceará
138	38	CNPAT 2004/47	Cruz – Ceará
139	39	CNPAT 2004/48	Cruz – Ceará
140	40	FCA 01	Fazenda Campo Alegre Araguaína – TO

Tabela 1. Identificação e origem das 49 progênies de cajueiro de meios-irmãos.

Parcela	Tratamento	Progênie	Origem
141	41	FCA 02	Fazenda Campo Alegre Araguaína – TO
142	42	FCA 03	Fazenda Campo Alegre Araguaína – TO
143	43	Tailândia 01	CPATU – Pará
144	44	Tailândia 02	CPATU – Pará
145	45	Soever pl-20	Beberibe – Granja Soever
146	46	Soever pl-27	Beberibe – Granja Soever
147	47	Soever pl-28	Beberibe – Granja Soever
148	48	Soever pl-29	Beberibe – Granja Soever
149	49	CNPAT 2004/40	Cruz – Ceará

O pomar foi instalado em março de 2005, em regime de sequeiro, no espaçamento de 8 m entre linhas e 6 m entre plantas. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados com duas repetições e quatro plantas por parcela.

As avaliações foram realizadas entre os anos de 2010 e 2014, em cinco safras consecutivas. Foram avaliadas: produtividade de castanhas (PROD - kg ha⁻¹), massa média de castanha (MMC - g), porcentagem de castanhas furadas (PCF - %) e severidade do oídio na castanha (SO). A MMC foi obtida a partir da pesagem de uma amostra aleatória composta por 100 castanhas aparentemente sadias coletadas de cada planta, com posterior obtenção da média aritmética. A reação à traça-da-castanha foi obtida a partir da contagem de castanhas furadas (sintoma clássico do ataque da praga), em uma amostra aleatória de 100 castanhas colhidas na planta, com posterior obtenção da porcentagem. A reação ao oídio na castanha (SO) foi obtida por meio de notas atribuídas de acordo com uma escala de severidade

(0 - 4), conforme Melo et al. (2018). O controle de pragas e doenças não foi empregado no experimento, possibilitando o livre ataque do patógeno e da praga e a avaliação da reação dos genótipos aos respectivos ataques.

Realizou-se a análise inicial dos dados, com base no coeficiente de correlação de Pearson (sem separação dos anos), para verificar a existência de correlação entre as variáveis (PROD, MMC, PCF e SO) e, depois de verificada a existência de associação entre as variáveis, procedeu-se à análise de componentes principais (ACP) (Johnson; Wichern, 1998). O i -ésimo componente é uma combinação linear $Y_i = l_i^T x$, que maximiza a variabilidade das variáveis de X_i em Y_i , com as seguintes restrições: $l_i^T l_i = 1$ e $\text{Cov}(Y_i, Y_j) = 0$, para qualquer $i \neq j$, com i e $j = 1, \dots, p$ e $p = \min(n, q)$.

Com base na ACP, foi possível construir gráficos *biplot* (Gabriel, 1971; Gower; Hand, 1996) que representam, na mesma dimensão, as variáveis e os indivíduos (progênies).

Para que os resultados não fossem influenciados pela magnitude das unidades das variáveis, utilizou-se a matriz de correlação das variáveis para obtenção dos componentes principais (Barroso; Artes, 2003). Esses componentes, o gráfico *biplot* e as correlações foram obtidos utilizando-se o software R (2021).

Resultados e Discussão

A caracterização genética ou fenotípica de uma determinada população de qualquer espécie é própria e intransferível para outras populações da mesma espécie ou de espécies similares, mesmo que estas sejam botanicamente relacionadas e mesmo pertencentes ao mesmo bioma (Maia et al., 2018; 2019; 2020; Pinheiro et al., 2019).

Dessa forma, as comparações de resultados entre estudos de natureza genética, mesmo considerando-se a mesma espécie e também com emprego da mesma abordagem de genética quantitativa, tornam-se específicas para as populações avaliadas, não sendo passíveis de extrapolações ou justaposições para outras espécies ou populações, uma vez que são produto final da manifestação dos alelos particulares e sua interação com as variáveis edafo-climáticas do ambiente no qual se encontram inseridas, as

quais influenciam na herdabilidade do caráter (Maia et al., 2018; 2019; 2020; Pinheiro et al., 2019).

No entanto, comparações genéticas podem ser justificadas quando as análises comparativas recaem sobre variáveis monogênicas ou controladas por poucos genes (oligogênicas) com um gene maior (repetitivo), que apresentam pequena influência do ambiente externo (Maia et al., 2018; 2019; 2020; Pinheiro et al., 2019; Melo et al., 2022a; 2022b).

Contudo, feitas restrições e guardadas as devidas ressalvas, comparações podem ser feitas, por exemplo, se as avaliações forem realizadas considerando-se tratamentos comuns. Assim, este trabalho não se reportou comparativamente a resultados obtidos a partir de outras populações cultivadas em outros ambientes (Melo et al., 2022a; 2022b).

Na Tabela 2, apresentam-se as estatísticas descritivas: média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) das quatro variáveis em relação às 49 progênes meios-irmãos de cajueiro.

Tabela 2. Média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) de quatro variáveis de 49 progênes de meios-irmãos de cajueiro.

	PROD (kg ha ⁻¹)	MMC (g)	PCF (%)	SO (Nota)
Média	399,38	9,72	4,45	2,07
Desvio-padrão	329,42	1,89	3,78	0,47
CV	82,48	19,44	84,94	22,71

PROD: produtividade de castanha; MMC: massa média da castanha; PCF: porcentagem de castanhas furadas; SO: severidade do oídio na castanha.

Pimentel-Gomes (1990) propôs uma classificação para o CV da seguinte forma: baixo, quando inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, quando entre 20 e 30%; e muito alto, quando superior a 30%. A variável MMC apresentou coeficiente de variação médio (menor que 20%), refletindo menor variação dos dados, enquanto PROD e PCF apresentaram alta variabilidade estocástica, com os valores de CV acima de 82%, em função de se tratar

de caracteres geneticamente complexos, sendo bastante influenciados pelo ambiente.

Foi estabelecido para PROD que valores entre 600 e 900 kg ha⁻¹ seriam considerados altos, e entre 300 e 500 kg ha⁻¹ seriam considerados medianos (intermediários). Assim, a média para PROD (399,38 kg ha⁻¹) apresentou valores intermediários, a despeito de serem obtidas a partir de cruzamentos abertos envolvendo genitores maternos promissores (Tabela 2). Seus valores apenas medianos são reflexos da rica segregação das progênies de meios-irmãos, cujo controle parental é observado apenas para o genitor materno. Assim, genitores paternos bons e os agronomicamente inferiores podem estar contribuindo para a formação da população segregante. Melo et al. (2020), considerando esta população, no mesmo ambiente de cultivo, encontraram para alguns tratamentos (33, 1, 14, 36 e 32) e indivíduos (36.3, 33.3, 14.4, 29.1, 14.2, 33.1 e 33.4), dentro das respectivas progênies, altos valores de PROD (≥ 500).

A massa média da castanha (9,72 g), na população, mostra-se com valores elevados, fato que a credencia para a seleção direta de progênies destaque (entre) ou para a seleção de genitores nessa população, habilitando-a ao processo seletivo (Tabela 2).

No geral, a PCF com média de 4,45% para as 49 progênies pode ser considerada de média infestação. O elevado valor do CV (84,94%) (Tabela 2) indica que existe uma variabilidade genética bem elevada para esse caráter, com amplitude variando de zero a 35,7%, devido provavelmente às diferentes origens das sementes para a formação das progênies, ou seja, possivelmente tais plantas matrizes enfrentaram pressões de seleção natural distintas para essa praga.

Essa média reflete o potencial das progênies dessa população como fonte de resistência/tolerância a traça-da-castanha, indicando-as para a seleção de genótipos superiores que agreguem outras variáveis desejáveis e de genitores para utilização em cruzamentos no programa de melhoramento do cajueiro.

Para severidade do oídio na castanha, como pode ser observado, a reação à doença registrou uma média intermediária (2,07), medida com relativa precisão experimental (CV = 22,71%) (Tabela 2). A exemplo da

avaliação da traça-da-castanha, esse resultado permite que famílias e indivíduos da população de progênies possam ser selecionadas diretamente, particularmente se essa característica estiver associada a alta PROD, elevada MMC e baixa PCF. De outro modo, possibilita também formar uma população selecionada de parentais que apresentem tolerância/resistência ao oídio, como fonte de alelos de resistência a essa doença, nos cruzamentos selecionados.

As correlações de Pearson entre as variáveis são apresentadas na Tabela 3. Os pares de combinação entre as variáveis PROD e MMC, PROD e SO e MMC e PCF mostraram significância. A correlação positiva encontrada entre PROD e MMC é esperada, uma vez que ambas as variáveis variam no mesmo sentido e são medidas que refletem a produção de castanha. Os seguintes valores de correlações foram considerados, em magnitude, compondo os intervalos: 0 a 30 – baixos; 31 a 60 – medianos; e 61 a 100 – altos. Apesar desses atributos terem apresentado correlações positivas e significativas, essas estimativas foram, em magnitude, baixas, refletindo um comportamento relativamente independente entre as variáveis consideradas, uma vez que as correlações podem ser interpretadas à luz de suas magnitudes. Os demais pares de variáveis não apresentaram correlação significativa.

Tabela 3. Correlações de Pearson entre as variáveis das 49 progênies de cajueiro.

	PROD (kg ha ⁻¹)	MMC (g)	PCF (%)	SO (Nota)
PROD	1,0000	0,0355	0,3731	0,0017
MMC	0,1736*	1,0000	0,0132	0,3514
PCF	-0,0740	0,2041*	1,0000	0,2286
SO	0,2561*	-0,0774	-0,0999	1,0000

Observação: abaixo da diagonal estão as correlações, e acima da diagonal os níveis descritivos (valores *p*) das respectivas correlações. Os valores *p* em negrito indicam significância ($p < 0,05$). PROD: produtividade de castanha; MMC: massa média da castanha; PCF: porcentagem de castanhas furadas; SO: severidade do oídio na castanha.

O esperado era que todos os pares de correlações entre as variáveis PROD e SO (0,26), PROD e PCF (-0,07), MMC e PCF (0,20) e MMC e SO (-0,08) mostrassem estimativas de correlações positivas e significativas entre si, exceto para os indivíduos segregantes transgressivos, isto é, de alguns indivíduos com fenótipos mais extremos do que os dos seus genitores.

Aqui, as correlações negativas, que muitas vezes atrapalham os trabalhos do melhorista, passam a ser consideradas ideais.

A resistência de plantas é regra na natureza, e os mecanismos que conferem essa proteção sobrepõem sistematicamente os mecanismos ou as “armas” de ataque das pragas e doenças na presença de eventos de coevolução envolvendo interações entre plantas, patógenos e pragas (Maia et al., 2009).

É bem conhecido na literatura que materiais genéticos selecionados para resistência/tolerância comumente resultam em menor produtividade, na ausência dos seus agentes causadores (Maia et al., 2009). Geralmente, genes para resistência a insetos e doenças são mais frequentemente observados em materiais exóticos, comumente ligados a outros genes desfavoráveis do ponto de vista de caracteres adaptativos e agronômicos (Maia, 2004). Esse fato obriga o uso de várias gerações adicionais, geralmente por meio de retrocruzamentos, para quebrar as mencionadas ligações gênicas, o que desestimula o uso de materiais silvestres nos programas de melhoramento (Maia et al., 2009).

Genótipos silvestres, comumente, apresentam clusters gênicos para tolerância/resistência a pragas e doenças e, geralmente, são menos produtivos, ao passo que populações produtivas, por outro lado, podem mostrar certa suscetibilidade a pragas e doenças. Essa tendência não foi observada considerando-se os dados de correlação fenotípica simples do cajueiro na presente pesquisa, exceto para as variáveis PROD e SO (0,25) e MMC e PCF (0,20). Já as associações negativas desejáveis para o processo seletivo apareceram entre os seguintes pares de variáveis PROD e PCF (-0,07) e MMC e SO (-0,08); porém, não apresentaram significância e seus valores foram de baixa magnitude, podendo ser consideradas desprezíveis.

Em última instância, o rendimento produtivo é determinado, grandemente, a partir das condições de sanidade das plantas. Adicionalmente, a estratégia

de agregar também a resistência/tolerância às demais características agrônômicas desejáveis no programa de melhoramento do cajueiro promove uma redução substancial de custos na manutenção e condução do pomar comercial, tornando-se um desafio considerável ao melhorista. Uma leve tolerância a doenças e insetos pode contribuir para diferenças substanciais na produtividade. Provavelmente, a característica mais importante das variedades resistentes seja o efeito estabilizador que elas exercem sobre a produtividade; isto é, colheitas razoáveis todos os anos são preferíveis a crises econômicas decorrentes de grandes flutuações na produção (Allard, 1971).

Com a Análise de Componentes Principais (ACP) da matriz de correlação para reduzir a dimensionalidade das variáveis inter-relacionadas, o componente 1 (CP1) explicou 36,44% da variabilidade total, e o componente 2 (CP2) explicou 24,92%, sendo que juntos explicaram uma porcentagem da variação total de 61,36%. Para Yang et al. (2009), os componentes principais que em conjunto explicam, no mínimo, 60% de toda a variação dos dados, podem ser eficientes na correlação multivariada de genótipos e estudos de seleção da representação gráfica. Para Maia et al. (2016; 2018), essa variação padrão sistemática (livre de ruídos) extraída da variabilidade total é considerada significativa, em função do controle genético complexo, isto é, das variáveis quantitativas consideradas no estudo. Assim, a existência de apreciáveis valores de variabilidade captados nos dois primeiros componentes principais significa que poucos eixos conseguem capturar a maior parte dos efeitos responsáveis pelas diferenças fenotípicas (variação padrão dos dados).

O componente 1 (CP1) possui maiores contribuições dos genótipos 1, 7, 8, 14, 15, 17, 18, 21, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 41, 42, 45 e 49. Para o componente 2, tem-se os seguintes genótipos relacionados: 2, 7, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 24, 27, 31, 38, 39 e 44.

Na Figura 1, apresenta-se o gráfico *biplot* (que explica 61,36%), considerando-se as componentes principais 1 e 2. Verifica-se que as variáveis formam três grupos: GV (GV1, GV2, GV3) - SO e PROD (GV1); PCF (GV2); e MMC (GV3). É possível notar que as variáveis SO e PROD têm uma relação positiva entre si, como o encontrado nas correlações simples, e estas são independentes de PCF e MMC. As variáveis SO e PCF apresentam-se, no

gráfico, distanciadas aproximadamente 90° , indicando independência entre elas, ao passo que PCF e PROD, SO e MMC, e PCF e MMC apresentam um ângulo maior do que 90° e estão negativamente correlacionadas. Esses resultados traduzem o ideal para essa população nessas condições ambientais e explica o relacionamento desejável e inverso entre PROD e resistência à traça-da-castanha e ao oídio. Portanto, essa população apresenta potencial para o melhoramento para produção e tolerância/resistência ao patógeno e à praga pesquisados.

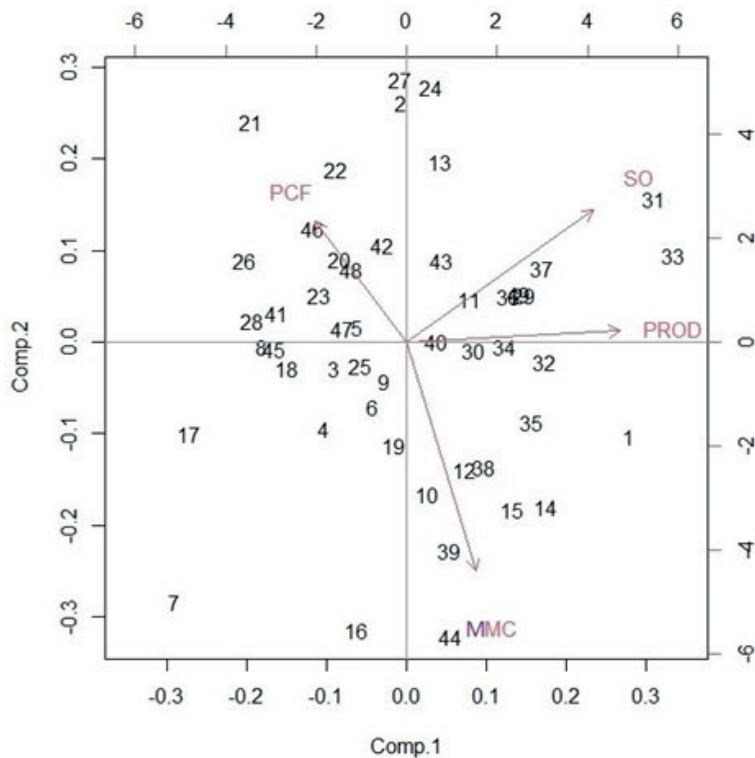


Figura 1. Gráfico *biplot* com quatro variáveis e 49 progênies de meios-irmãos de cajueiro. Figura obtida por Lúcio Borges de Araújo com emprego do software R (2021). PROD: produtividade de castanha; MMC: massa média da castanha; PCF: porcentagem de castanha furada; SO: severidade do oídio na castanha.

Foi observada uma tendência inversa desejável para o melhoramento do cajueiro entre PROD, MMC e as variáveis que mensuram a reação ao oídio na castanha (SO) e à traça-da-castanha (PCF). Esse comportamento apareceu entre três pares de atributos pelo gráfico *biplot*. A técnica *biplot* foi mais sensível na detecção da relação desejável (correlações negativas) entre essas variáveis equivalentes, como visto nas correlações simples. Apesar das estatísticas descritivas, correlações simples e do gráfico *biplot* terem, em parte, divergido quanto à tendência teórica desejada, há uma particularidade matemática que aponta para uma melhor precisão desta última análise. A análise *biplot* utiliza apenas a resposta padrão dos dados (livres de ruído), ao passo que na estimativa das correlações simples todo o ruído é considerado, isto é, emprega indiscriminadamente todo o conjunto de dados, carregando muito ruído. Ademais, as correlações simples e o gráfico *biplot* são originados a partir de diferentes princípios matemáticos, explicando, parcialmente, a ausência de conservação nas associações entre as características consideradas.

Em relação às progênies e suas relações com as variáveis, estas podem ser observadas na Figura 1. As progênies de números 31 e 33 apresentaram altos valores de SO (suscetível) e PROD. As progênies 2, 24 e 27 apresentaram altos valores para PCF e PROD. As progênies 2, 13, 21, 22, 24, 26, 27 e 46 tiveram correlação positiva com PCF (altos valores: suscetível) e correlação negativa (baixos valores) com MMC, podendo ser descartadas do programa de melhoramento genético do cajueiro, o que trará uma economia de tempo, mão de obra e de recursos demandados para avaliar o comportamento desses indivíduos. As progênies 7 e 17 apresentaram baixos valores de SO e PROD, simultaneamente, podendo ser aproveitadas como fonte de alelos para tolerância/resistência ao oídio.

As progênies 1, 10, 12, 14, 15, 16, 35, 38, 39 e 44 apresentaram altos valores de MMC e baixos de PCF, mostrando bom potencial para serem consideradas em uma seleção direta de indivíduos para compor um segundo ciclo de seleção recorrente ou, ainda, para compor um esquema de cruzamentos.

As progênies mais produtivas (33 e 31) se apresentaram como as mais suscetíveis ao oídio, mostrando, mais uma vez, aquela relação em que genótipos bastante produtivos podem aparecer como os mais suscetíveis.

As demais progênes que estão próximas à origem do gráfico não estão associadas a nenhuma variável.

De acordo com Oliveira (2019), a visualização gráfica, utilizando-se esta metodologia, possibilita observar a relação multivariada entre as variáveis, além de selecionar genótipos de acordo com a variável à qual se correlaciona.

Conclusões

O *biplot* mostra comportamento similar ao das correlações simples, quanto à tendência, em mesma direção, esperada entre produtividade e severidade do oídio na castanha e, em parte, divergente quanto ao comportamento oposto e ideal entre produtividade e porcentagem de castanhas furadas; massa média da castanha e reação ao oídio; e massa média da castanha e porcentagem de castanhas furadas.

As progênes 1, 10, 12, 14, 15, 16, 35, 38, 39 e 44 apresentam altos valores de massa média de castanha e baixos de porcentagem de castanha furada, mostrando bom potencial para serem consideradas em uma seleção direta de indivíduos para compor um segundo ciclo de seleção recorrente, como também para compor o esquema de cruzamentos do programa de melhoramento.

As progênes 33 e 31, que se mostram mais suscetíveis ao oídio, aparecem como as mais produtivas, simultaneamente, mostrando uma correlação positiva indesejável entre essas variáveis para essa população no ambiente considerado.

As progênes 7 e 17, que apresentam baixos valores de severidade do oídio na castanha e produção, simultaneamente, podem ser aproveitadas como fonte de alelos para tolerância/resistência ao oídio.

Agradecimentos

Ao Professor Antônio Augusto Franco Garcia, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), por sua contribuição na construção da informação que traz a permissividade seletiva para comparação dos resultados entre estudos genéticos no item Resultados e Discussão deste

trabalho; e ao Professor Magno Antônio Pato Ramalho, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela revisão deste texto.

Referências

- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971. 381 p.
- BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise multivariada**. Lavras: UFLA, 2003. 156 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.
- CARDOSO, J. E.; VIANA, F. M. P.; FREIRE, F. C. O.; MARTINS, M. V. V. Doenças do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. de (Ed.). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 217-238.
- DIAS-PINI, N. da S.; DUARTE, P. M.; MACIEL, G. P. de S.; ZOCOLO, G. J.; VIDAL NETO, F. das C.; DIAS, C. T. dos S.; SILVA, C. S. B. D. **Quantificação e caracterização fitoquímica de castanhas de cajueiro-anão infestadas por *Anacampsis phytomiella***. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2021. 20 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 212). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1129713/1/BP-212.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2022.
- GABRIEL, K. R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, Oxford, v. 58, p. 453-467, 1971. doi: <https://doi.org/10.1093/biomet/58.3.453>.
- GOWER, J. C.; HAND, D. J. **Biplots**, London: Chapman and Hall, 1996, 277 p.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Madison: Prentice Hall, 1998. 816 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, 2020. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 jan. 2022.
- LIMA, J. S.; MARTINS, M. V. V.; VIANA, F. M. P.; CARDOSO, J. E. Powdery mildew damage to the production of BRS 189 cashew plants. **Revista Ceres**, v. 66, n. 2, p. 132-141, 2019.
- MAIA, M. C. C. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica de linhagens experimentais de soja selecionadas para caracteres agrônômicos e de tolerância a insetos através de método uni - multivariado com reamostragem**. 2004. 124 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) ESALQ-USP. Piracicaba.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; ROCHA, M. M. de; FONSECA JUNIOR, N.; LAVORANTE, O. J.; PINHEIRO, J. B.; DIAS, C. T. S.; ASSIS, G. M. L. Seleção de linhagens experimentais de soja para características agrônômicas e tolerância a insetos. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 85-97, 2009. doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000100010>.

MAIA, M. C. C.; ARAÚJO, L. B. de; DIAS, C. T. S. dos; OLIVEIRA, L. C. de; VASCONCELOS, L. F. L.; CARVALHO JÚNIOR, J. E. V. de; SIMEÃO, M.; BASTOS, Y. G. M. Selection of mango rosa genotypes in a breeding population using the multivariate-biplot method.

Ciência Rural, Santa Maria, v. 46, n. 10, p. 1689-1694, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130722>.

MAIA, M. C. C.; ARAUJO, M. F. C.; ARAÚJO, L. B. de; DIAS, C. T. dos S.; OLIVEIRA, L. C.; CRUZ, C. D.; VASCONCELOS, L. F. L.; MACEDO, L. M.; YOKOMIZO, G. K. I.; LIMA, P. S. C. Genetic Divergence Among a Breeding Population of *Hancornia Speciosa* Gomes (Mangabeira) as Determined by Multivariate Statistical Methods. **European Scientific Journal**, Macedônia, v. 14, n. 15, p. 421-433, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130722>.

MAIA, M. C. C.; ALMEIDA, A. S.; ARAUJO, L. B.; DIAS, C. T. S.; OLIVEIRA, L. C.; YOKOMIZO, G. K. I.; ROSADO, R. D. S.; CRUZ, C. D.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, P. S. C.; MEDINA-MACEDO, L. Principal Component and Biplot Analysis in the Agro-industrial Characteristics of *Anacardium* spp. **European Scientific Journal**, Macedônia, v. 15, n. 30, p. 21-31, 2019. doi: <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p421>.

MAIA, M. C. C.; ARAÚJO, L. B. de; DIAS, C. T. S. dos; OLIVEIRA, L. C. de; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, P. S. C. da. Early selection in a population of the mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes). **Agro@ambiente on-line**, Rondônia, v. 14, p. 1-13, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v14i0.6022>.

MELO, D. S.; VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. de M.; SERRANO, L. A. L.; TEIXEIRA, A. S. **Protocolo para avaliações de plantas e de castanhas do Programa de Melhoramento Genético do Cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 245). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1102071/1/COT18012.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2022.

MELO, D. S.; VALE, J. C.; MACHADO, I. P.; VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. de M. **Seleção entre e dentro de progênies de meios-irmãos de cajueiro via REML/BLUP**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2020. 21 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 198). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1120815/1/BP198.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2022.

MELO, D. S.; MAIA, M. C. C.; VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. de M.; CRUZ, C. D.; OLIVEIRA, L. C.; ARAUJO, L. B.; MEDINA-MACEDO, L. **Seleção em uma população**

segregante de cajueiro por meio de repetibilidade. Fortaleza: Embrapa, 2022a (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 228). Disponível em: Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1143384/1/BP-228-1.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2022.

MELO, D. S.; MAIA, M. C. C.; VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. de M.; CRUZ, C. D.; OLIVEIRA, L. C.; ARAUJO, L. B.; MEDINA-MACEDO, L. **Divergência genética em uma população de melhoramento de cajueiro.** Fortaleza: Embrapa, 2022b (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 230). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1144111/1/BP-230.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.

MESQUITA, A. L. M.; BRAGA SOBRINHO, R. Pragas do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. de (Ed.). **Agronegócio caju:** práticas e inovações. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 195-215.

OLIVEIRA, T. R. A. **Análise biplot no desempenho de feijão vagem e na inoculação de *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAL5.** 55 p. 2019. Tese (Doutorado em Genética e melhoramento de plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Campos dos Goytacazes - RJ.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 240 p.

PINHEIRO, D. S.; MAIA, M. C. C.; PINTO M. F. E.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA R., R. D.; YOKOMIZO, G. K. I. Repeatability estimation for mangaba selection using mixed models. **Agro@ambiente On-line**, Rondônia, v. 13, p. 243-255, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v13i0.5758>.

R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING. **R: A language and environment for statistical computing.** Vienna, 2021. <http://www.R-project.org/>.

SILVA FILHO, J. L. da; PEDROSA, M. B.; MORELLO, C.; FREIRE, E. C.; FARIAS, F. J. C.; BENITES, F. R. G. Análise *biplot* genótipos x características em fases iniciais de melhoramento do algodoeiro. Campina Grande, 2009. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., Foz do Iguaçu. **Anais....** Foz do Iguaçu, 2009. p. 1506-1511.

VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. de M.; CAVALCANTI, J. J. V.; MELO, D. S. Melhoramento genético e cultivares de cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. (Ed.). **Agronegócio caju:** práticas e inovações. Brasília, DF: Embrapa, 2013, parte 7, Cap. 2, p. 481-508.

YANG, R. C.; CROSSA, J.; CORNELIUS, P. L.; BARGUEÑO, J. Biplot analysis of genotype x environmental interactions: Proceed with caution. **Crop Science**, Madson, v. 49, n. 5, p. 1564-1576, 2009. doi: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2008.11.0665>.

Embrapa

Agroindústria Tropical

Embrapa

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

CGPE 017918