

Diversidade genética entre progênies de pinhão-manso na fase juvenil



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

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
18**

**Diversidade genética entre progênies
de pinhão-mansão na fase juvenil**

*Bruno Galvêas Laviola
Adriano dos Santos
Adriana de Souza Carneiro
Ana Clara Comby Oliveira
Erina Vítório Rodrigues*

***Embrapa Agroenergia
Brasília, DF
2019***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na

Embrapa Agroenergia
Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº
Ed. Embrapa Agroenergia
Caixa Postal 40315
CEP 70770-901, Brasília, DF
Fone: +55 (61) 3448-1581
Fax: +55 (61) 3448-1589
www.embrapa.br/agroenergia
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agroenergia

Presidente
Alexandre Alonso Alves

Secretária-Executiva
Lorena Costa Garcia Calsing

Membros
*Adilson Kobayashi, André Leão, Dasciana
Rodrigues, Emerson Leo Schultz, Felipe
Carvalho, Thaís Salum, Wesley Leal*

Colaboradores
Júlio César Marana, Laise Teixeira da Costa

Supervisão editorial e revisão de texto
Luciane Chedid Melo Borges

Normalização bibliográfica
Rejane Maria de Oliveira

Tratamento das imagens
Maria Goreti Braga dos Santos

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Maria Goreti Braga dos Santos

Foto da capa
Bruno Galvêas Laviola

1ª edição
Publicação digital (2019)

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 Agroenergia

Diversidade genética entre progênies de pinhão-manso na fase juvenil / Bruno
Galvêas Laviola ... [et al.]. – Brasília, DF : Embrapa Agroenergia, 2019.

PDF (22 p.) – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa
Agronegria, ISSN 2177-0395, 18)

1. *Jatropha curcas*. 2. Biodiesel. 3. Melhoramento genético. 4.
Sustentabilidade. I. Santos, Adriano dos. II. Carneiro, Adriana de Souza. III.
Oliveira, Ana Clara Comby. IV. Rodrigues, Erina Vítório. V. Série.

CDD (21. ed.) 633.85

Sumário

Resumo5

Abstract6

Introdução.....7

Material e Métodos10

Resultados e Discussão12

Conclusões.....20

Agradecimentos.....21

Referências21

Diversidade genética entre progênie de pinhão-manso na fase juvenil

Bruno Galvêas Laviola¹

Adriano dos Santos²

Adriana de Souza Carneiro³

Ana Clara Comby Oliveira⁴

Erina Vítório Rodrigues⁵

Resumo – O objetivo deste trabalho é estimar a diversidade genética em população segregante de pinhão-manso visando alta produtividade para a produção de biodiesel. Para isso foram realizados cruzamentos controlados entre genótipos de pinhão-manso em esquema fatorial desconexo (3 x 3), totalizando 70 famílias, as quais foram avaliadas em delineamento experimental de blocos ao acaso com seis repetições, três plantas por parcela e espaçamento de 4 m x 2 m. Os caracteres avaliados foram: altura de plantas, projeção da copa na linha, projeção da copa na entrelinha e produção de grãos. Realizou-se análise de variância individual para verificar a existência de variabilidade entre os genótipos. As médias foram agrupadas pelo teste Scott e Knott. Posteriormente, foi realizada a análise de divergência genética, empregando-se as técnicas multivariadas. Os métodos empregados corroboraram a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados com grande potencial para serem utilizados em futuros blocos de cruzamentos do programa de melhoramento. Considerando o primeiro ano de cultivo, os genótipos 29, 39, 15, 27 e 8 apresentaram potencial para ser utilizados como novas cultivares de pinhão-manso ou compor os blocos de cruzamentos nos programas de melhoramento, visando obtenção de progênie com alto potencial produtivo, resistente ao oídio e com características atóxicas.

Termos para indexação: *Jatropha curcas* L., biodiesel, sustentabilidade.

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Brasília, DF.

³ Cientista natural, mestranda em Ciências Ambientais, Brasília, DF.

⁴ Graduanda em Ciências Naturais, Brasília, DF.

⁵ Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, professora da UnB, Brasília, DF.

Genetic diversity between *Jatropha* progenies in the juvenile stage

Abstract – The objective of this work is to estimate the genetic diversity in the segregating population of *Jatropha* aiming high yield for biodiesel production. For this, controlled crosses were carried out between *Jatropha* genotypes in unconnected factorial scheme (3 x 3), totaling 70 families, which were evaluated in a randomized block design with six replications, three plants per plot and 4 x 2 m spacing. The evaluated characters were height of plants, projection of the canopy in the line, projection of the canopy in the interline and production of grains. Individual variance analysis was performed to verify the existence of variability among the genotypes and the means were grouped by Scott and Knott test. Subsequently, genetic divergence analysis was performed using multivariate techniques. The methods employed corroborated the existence of genetic variability among the evaluated genotypes with great potential to be used in future breeding blocks of breeding program. Considering the first year of cultivation, the genotypes 29, 39, 15, 27 and 8 present the potential to be used as new *Jatropha* cultivars or to compose the crossing blocks in breeding programs aiming at obtaining progenies with high productive potential, resistant to mildew and with non-toxic characteristics.

Index terms: *Jatropha curcas* L., biodiesel, sustainability.

Introdução

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) originou-se em países tropicais da América Central e do Norte. Do México, seu cultivo foi expandido pelos portugueses inicialmente em países da África e posteriormente na Ásia. Sua distribuição é vasta, vai desde regiões tropicais e secas a regiões equatoriais e úmidas (Cáceres et al., 2007). É uma espécie da família Euphorbiaceae, sendo caracterizada como uma planta perene e arbórea, de rápido crescimento, com altura média entre 3 m e 5 m. O fruto é uma cápsula levemente achatada de cor verde, quando imatura, carnosa e com sementes de cor preta. A floração é do tipo monoica, apresenta flores unissexuais de cor amarelo-esverdeada na mesma inflorescência. As flores masculinas ocorrem em maior quantidade e são localizadas nas extremidades das ramificações e as flores femininas localizam-se nas ramificações. Os tempos de vida são de 2 dias e de 5 a 12 dias, respectivamente (ChangWei et al., 2007).

A polinização é feita por abelhas e outros insetos, ocorrendo ocasionalmente autofecundação em flores hermafroditas. O florescimento geralmente ocorre duas vezes ao ano, e cada inflorescência dá origem a dez ou mais frutos em forma de cachos. Desde o primeiro ano, já é possível a colheita, aumentando a produção a cada ano e se estabilizando em torno de 5 ou 6 anos. As sementes possuem de 35% a 38% de óleo, gerando produtividade em torno de 930 kg a 1.250 kg de óleo por hectare (Bhering et al., 2013).

O cultivo de pinhão-manso possui diversos benefícios quando comparado ao de outras espécies, principalmente por sua capacidade de adaptação em diversas condições climáticas, pela diversidade do uso e pela facilidade de manuseio e plantio (Laviola et al., 2017). Por ser uma planta arbórea e pelas propriedades de suas raízes, pode ser plantada em terrenos como áreas montanhosas e encostas, contribuindo na prevenção de deslizamentos, e também pode ser utilizada na recuperação do solo, devido ao seu potencial de bioacumulação. Além disso, contribui com o aumento da área reflorestada, pois ajuda na captura de carbono e, conseqüentemente, reduz o efeito estufa (Reubens et al., 2011).

O pinhão-manso foi, por muito tempo, usado como cerca-viva e quebra-vento, principalmente em pastos de bovinos e caprinos, devido ao fato de não ser comestível para esses animais e também pelo rápido crescimento e

boa cobertura vegetal (Kumar; Sharma, 2008). Também já foi muito utilizado em cultivo doméstico para a fabricação de produtos medicinais para humanos e animais a partir de suas folhas, produtos de limpeza, inseticidas e até para a iluminação pública. No entanto, foi o alto teor de óleo presente em suas sementes, juntamente com a característica de queimar sem liberar fumaça, que fez dele um dos mais conhecidos óleos para a produção de biocombustíveis.

Por ser uma espécie perene, com alta resistência à seca e com potencial de produção em terrenos arenosos e pouco férteis, o cultivo do pinhão-mansinho torna-se uma prática economicamente acessível a grandes e pequenos produtores rurais, o que pode gerar fonte de empregos para diversas regiões. Além disso, o óleo produzido a partir da semente do pinhão-mansinho possui características parecidas com as do diesel do petróleo, tornando-se uma alternativa quando são pensadas soluções para mitigar o aquecimento global. Portanto, a principal utilização do pinhão-mansinho se dá na produção de biodiesel, tanto pelo baixo custo de produção, benefício ecológico e sua alta produtividade, que atinge cerca de 1.200 kg ha⁻¹ a 1.500 kg ha⁻¹ a partir do 4º ano de produção (Laviola et al., 2014), como pela qualidade do óleo.

Alguns países como Índia, China e Filipinas apresentam o pinhão-mansinho como uma das principais fontes para a produção de biodiesel (Lin et al., 2011). Entretanto, no Brasil, o pinhão-mansinho ainda é considerado como uma espécie não domesticada. Para garantir seu potencial na produção de biodiesel, é importante a realização de estudos sobre a diversidade genética, a fim de selecionar plantas, e sobre o desenvolvimento de variedades comerciais superiores (Achten et al., 2008). A carência por variedades geneticamente melhoradas, que garantam a potencialidade, dificulta o plantio em larga escala dessa espécie (Rocha et al., 2012). Dessa forma, informações sobre a diversidade genética dentro de uma espécie são essenciais para o uso racional dos recursos genéticos.

Assim, no cultivo do pinhão-mansinho, é importante estabelecer estratégias para o melhoramento da espécie. O melhoramento genético de espécies perenes é composto por três fases: i) avaliação do banco de germoplasma, formação de grupos com base na informação genética e desempenho individual; ii) seleção de indivíduos com melhor desenvolvimento das características desejadas para recombinação e formação de novas progênes, sendo estas

consideradas promissoras e iii) destes indivíduos, são selecionados testes clonais, baseados em valores genéticos. Para estabelecer estratégias de melhoramento genético, é necessário selecionar genótipos divergentes entre si e que tenham condições favoráveis de adaptação agrônômica (Laviola et al., 2017). Assim, evita-se a endogamia e selecionam-se genótipos com maior potencial de adaptação ambiental.

Diante disso, a primeira etapa para dispor de variabilidade genética é um estudo sobre a diversidade da espécie para implementação do banco de germoplasma (Bhering et al., 2011; Alves et al., 2015). No Brasil, alguns bancos ativos de germoplasma (BAG) de pinhão-mansão foram implementados. A Embrapa Agroenergia, em parceria com a Embrapa Cerrados, implantou um banco de germoplasma com genótipos provenientes de algumas regiões do Brasil e do México (Laviola et al., 2011).

Uma das formas de avaliação da divergência genética é a utilização de técnicas multivariadas, nas quais se realiza avaliação simultânea de vários caracteres. Entre as técnicas multivariadas por métodos de agrupamento, destaca-se a dos hierárquicos, em que os genótipos são agrupados em um processo que se repete em vários níveis até que seja estabelecido o dendrograma, sem a preocupação com o número ótimo de grupos. Também vale destacar o agrupamento por otimização, em que se realiza a partição dos genótipos em subgrupos por meio de critérios preestabelecidos. Um dos métodos de otimização mais utilizado é o agrupamento de Tocher (Rao, 1952), no qual se adota o critério de que a média das medidas de dissimilaridade intragrupo deve ser menor que as distâncias médias intergrupos (Cruz et al., 2012).

Esses métodos quantificam a diversidade por meio de medidas de dissimilaridade, das quais as mais utilizadas são a distância generalizada de Mahalanobis e a Euclidiana. A primeira necessita de repetições para ser estimada. Já a distância euclidiana pode ser estimada tomando-se por base dados sem repetições, como é o caso de dados oriundos do banco ativo de germoplasma, tornando-se viável a sua aplicação. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é estimar a diversidade genética em progênies de pinhão-mansão visando alta produtividade para produção de biodiesel.

Material e Métodos

Local e implantação do experimento

O experimento foi instalado na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, situada a 15°35'30" S e 47°42'30" W, a 1.007 m altitude, no dia 22 de setembro de 2014 (Figura 1). O clima é tropical com inverno seco e verão chuvoso (Aw) segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 22 °C, umidade relativa de 73% e precipitação pluvial média de 1.100 mm. Na Figura 2 estão apresentados os valores mensais de precipitação pluvial e temperatura referentes ao ano de avaliação do experimento (2015). O solo predominante no local foi classificado como Latossolo vermelho.

Fotos: Bruno Galvéas Laviola



Figura 1. Implantação do experimento de pinhão-mansô. Brasília, DF.

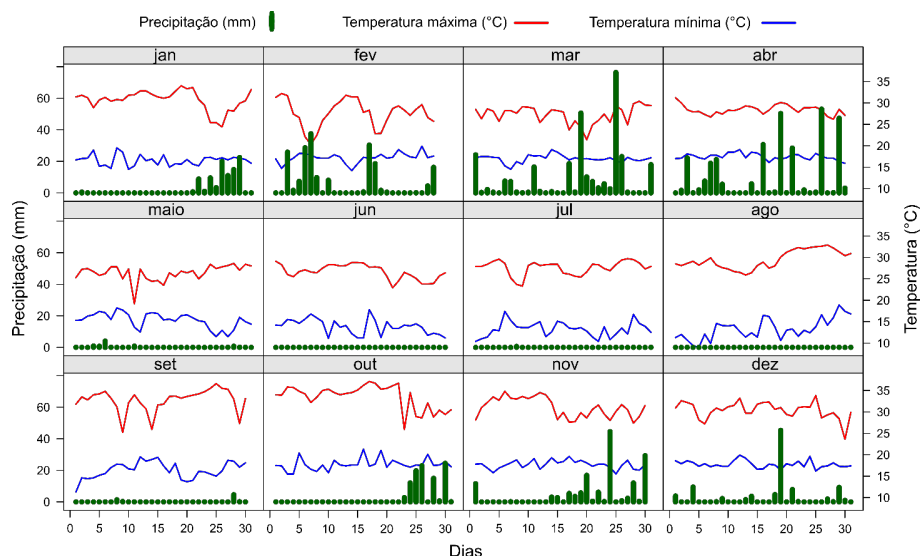


Figura 2. Precipitação pluviométrica, temperatura máxima e temperatura mínima ocorridas durante a condução do experimento de pinhão-manso. Brasília, DF, 2015.

Obtenção das progênie e delineamento experimental

Realizaram-se cruzamentos controlados entre genótipos de pinhão-manso em esquema fatorial desconexo (3×3), totalizando 70 famílias, as quais foram avaliadas em delineamento experimental de blocos ao acaso com seis repetições, três plantas por parcela e espaçamento de 4 m x 2 m. O manejo baseou-se em Dias et al. (2007), com adaptações de acordo com os resultados de pesquisa com pinhão-manso no Brasil e no mundo.

Os caracteres avaliados foram: altura de plantas (ALT), em metros; projeção da copa na linha (PCL), em metros; projeção da copa na entrelinha (PCEL), em metros; e produção de grãos (PROD), em g planta⁻¹. As avaliações correspondem ao ano de 2015, o qual representa o primeiro ano de produção.

Análises genético-estatísticas

Inicialmente, foi realizada a análise de variância individual para verificar a existência de variabilidade entre os genótipos e as médias foram agrupadas pelo teste Scott e Knott (1974), com o auxílio do software GENES

(Cruz, 2013). Posteriormente foi realizada a análise de divergência genética, empregando-se as técnicas multivariadas. Na aplicação da técnica de agrupamento dos genótipos pelo método da ligação média entre grupos (UPGMA) e pelo método hierárquico aglomerativo de otimização proposto por Tocher, adotou-se a distância generalizada de Mahalanobis (D^2), como medida de dissimilaridade, levando-se em consideração o grau de dependência entre as variáveis estudadas. Também realizou-se análise de componentes principais com posterior dispersão gráfica dos genótipos. Para determinação do número ótimo de grupos, foi utilizado o pacote *NbCluster*, implementado no software R (R Core Team, 2018).

Resultados e Discussão

Houve efeito significativo ($p < 0,01$) de genótipos para todos os caracteres avaliados (Tabela 1), podendo-se inferir a existência de variabilidade entre as progêies de pinhão-manso. Dessa forma, a seleção de genótipos superiores para essas variáveis será eficiente.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para a altura de plantas (ALT), projeção da copa na linha (PCL), projeção da copa na entrelinha (PCEL) e produção de grãos (PROD), em 70 genótipos de pinhão-manso. Brasília, DF.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		ALT	PCL	PCEL	PROD
Bloco	5	0,20	1,44	2,61	144018,88
Genótipo	69	0,11**	0,20**	0,28**	55126,34**
Resíduo	345	0,06	0,08	0,12	15038,79
Média	-	1,91	1,53	1,52	237,65
Acurácia	-	0,66	0,77	0,76	0,85

** : significativo a ($p < 0,01$) pelo teste F.

A precisão experimental foi avaliada por meio das estimativas de acurácia seletiva (A_s). Este parâmetro está associado à precisão da seleção e refere-se à correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos (Rezende; Duarte, 2007). Nesse contexto, observam-

-se valores de acurácia entre 0,66 a 0,85 para altura de planta e produção de grãos, respectivamente, o que representa moderada a alta precisão e possibilidade de sucesso na seleção de indivíduos.

Para altura de plantas (Tabela 2), pode-se observar que ocorreu a separação em dois grupos distintos. O grupo “a”, com alturas variando de 0,95 m a 2,16 m, foi composto por 22% dos genótipos. Resultado similar também pode ser verificado para a projeção da copa na linha e projeção da copa na entrelinha, pois para ambas variáveis os genótipos foram divididos em dois grupos. O grupo com as maiores médias para projeção da copa na linha e projeção da copa na entrelinha reuniu 38,5% e 24% dos genótipos, respectivamente.

Em relação à altura de planta, deve-se ressaltar que plantas muito altas não são adequadas, pois é dificultada a execução dos tratos culturais e fitossanitários, bem como a colheita. Achten et al. (2008) ressaltam em seu trabalho que a altura média das plantas não deve ultrapassar 2 m. Entretanto, pode-se observar que os genótipos 15, 17, 18, 19, 29, 41, 51, 59 e 65 apresentaram alturas superiores a 2 m. Desse modo, deve-se realizar a poda das plantas como técnica de manejo. Sunil et al. (2008), desenvolvendo método para identificação de genótipos superiores, estabeleceram que plantas entre 1,5 m a 2 m de altura apresentam-se como ideais para facilitar o manejo. Nesse contexto, os genótipos pertencentes ao grupo “b” e os genótipos do grupo “a”, excetuando-se os citados anteriormente com altura superior a 2 m, estão dentro dos padrões requeridos de altura.

A projeção da copa na linha, assim como a projeção da copa na entrelinha, fornece informações da área do solo sombreada pelas folhas nos dois sentidos do plantio. Dessa forma, quanto maior for a projeção da copa no sentido da linha e da entrelinha, maior será a exposição das folhas à radiação solar. Por conseguinte, apresentarão maior eficiência na interceptação luminosa, ocasionando, assim, maior potencial fotossintético. Ademais, maiores projeções da copa resultam em maior sombreamento do solo e, consequentemente, em menor disponibilidade de luz às plantas espontâneas, o que reduz a taxa fotossintética e provoca menores danos.

Deve-se citar ainda que altos valores de projeções da copa podem contribuir para o desenvolvimento das plantas, uma vez que boa parte do sistema radicular é proporcional à parte aérea. Nesse contexto, pode-se elaborar a hipótese de que copas maiores sejam sustentadas por maior volume de raízes,

Tabela 2. Teste de agrupamento de médias de Scott-Knott para altura de plantas (ALT), projeção da copa na linha (PCL), projeção da copa na entrelinha (PCEL) e produção de grãos (PROD), em 70 genótipos de pinhão-manso. Brasília, DF.

Genótipo	ALT	PCL	PCEL	PROD	Genótipo	ALT	PCL	PCEL	PROD								
1	1,87	b	1,42	b	1,41	b	158,92	c	36	1,97	a	1,29	b	1,41	b	297,71	b
2	1,96	a	1,62	a	1,69	a	327,31	b	37	1,82	b	1,49	b	1,50	b	351,66	b
3	1,91	b	1,68	a	1,61	b	291,40	b	38	1,80	b	1,39	b	1,36	b	228,84	c
4	1,87	b	1,42	b	1,39	b	216,32	c	39	2,05	a	1,81	a	1,83	a	504,28	a
5	1,93	b	1,47	b	1,45	b	116,97	c	40	1,67	b	1,26	b	1,19	b	118,98	c
6	1,98	a	1,41	b	1,39	b	209,25	c	41	2,14	a	1,55	b	1,72	a	358,89	b
7	1,89	b	1,72	a	1,84	a	201,99	c	42	1,85	b	1,83	a	1,60	b	324,62	b
8	1,72	b	1,37	b	1,23	b	400,72	b	43	1,91	b	1,56	b	1,42	b	271,83	c
9	1,99	a	1,60	a	1,53	b	204,05	c	44	1,84	b	1,57	a	1,55	b	211,56	c
10	1,95	a	1,63	a	1,42	b	238,53	c	45	1,68	b	1,33	b	1,26	b	302,04	b
11	1,87	b	1,42	b	1,28	b	70,68	c	46	1,92	b	1,45	b	1,56	b	267,42	c
12	1,87	b	1,62	a	1,57	b	255,86	c	47	2,03	a	1,52	b	1,49	b	346,59	b
13	1,89	b	1,51	b	1,51	b	238,04	c	48	1,81	b	1,06	b	1,02	b	195,72	c
14	1,85	b	1,38	b	1,48	b	139,72	c	49	2,00	a	1,67	a	1,64	a	255,75	c
15	2,14	a	1,76	a	1,83	a	430,94	a	50	1,93	b	1,54	b	1,53	b	230,61	c
16	2,00	a	1,59	a	1,63	a	360,48	b	51	2,14	a	1,65	a	1,79	a	187,69	c
17	2,14	a	1,82	a	2,10	a	235,95	c	52	1,69	b	1,37	b	1,33	b	271,83	c

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Genótipo	ALT	PCL	PCEL	PROD	Genótipo	ALT	PCL	PCEL	PROD								
18	2,13	a	1,93	a	1,97	a	198,27	c	53	1,76	b	1,33	b	1,23	b	108,69	c
19	2,12	a	2,05	a	2,03	a	278,85	b	54	2,02	a	1,55	b	1,55	b	305,07	b
20	2,05	a	1,80	a	1,91	a	142,52	c	55	1,93	b	1,43	b	1,40	b	244,78	c
21	1,64	b	1,37	b	1,35	b	148,54	c	56	1,86	b	1,18	b	1,20	b	217,71	c
22	1,84	b	1,63	a	1,55	b	261,36	c	57	1,77	b	1,38	b	1,41	b	163,86	c
23	1,94	b	1,48	b	1,48	b	178,83	c	58	1,77	b	1,33	b	1,24	b	179,39	c
24	1,91	b	1,49	b	1,52	b	139,04	c	59	2,11	a	1,80	a	1,99	a	262,12	c
25	1,89	b	1,38	b	1,31	b	168,66	c	60	1,86	b	1,57	a	1,58	b	192,16	c
26	1,83	b	1,46	b	1,44	b	191,99	c	61	1,90	b	1,54	b	1,58	b	278,33	b
27	2,01	a	1,51	b	1,44	b	404,03	b	62	2,01	a	1,39	b	1,28	b	108,85	c
28	1,90	b	1,38	b	1,44	b	224,63	c	63	1,62	b	1,46	b	1,38	b	154,11	c
29	2,16	a	1,79	a	1,91	a	594,34	a	64	2,06	a	1,80	a	1,77	a	183,10	c
30	1,86	b	1,65	a	1,64	a	351,71	b	65	2,19	a	1,72	a	1,64	a	75,48	c
31	2,05	a	1,66	a	1,53	b	241,63	c	66	1,91	b	1,59	a	1,54	b	195,36	c
32	1,73	b	1,37	b	1,32	b	243,35	c	67	1,89	b	1,59	a	1,51	b	164,42	c
33	1,78	b	1,34	b	1,32	b	283,40	b	68	2,02	a	1,48	b	1,39	b	171,61	c
34	1,92	b	1,45	b	1,42	b	179,35	c	69	1,91	b	1,28	b	1,29	b	101,29	c
35	1,67	b	1,45	b	1,57	b	216,65	c	70	1,75	b	1,50	b	1,64	a	258,83	c

Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Skott-Knott a (p<0,01).

aumentando assim a capacidade de exploração do solo e, desse modo, maior disponibilidade de água e nutrientes estarão disponíveis para absorção.

No que tange à produção de grãos, os genótipos foram divididos em três grupos. Entretanto, os grupos com maior produção (grupo “a” e grupo “b”) foram formados com apenas 4% e 21% dos genótipos, respectivamente. Os genótipos mais produtivos (grupo “a”) obtiveram em média 483 g por planta. Considerando o espaçamento utilizado, tem-se produtividade média de 603 kg ha⁻¹. De acordo com Pandey et al. (2012), a máxima produtividade de grãos de pinhão-manso é obtida a partir de plantas com cerca de 3 a 5 anos de idade.

Entretanto, Tripathi et al. (2013), avaliando 113 genótipos de pinhão-manso no terceiro ano após o plantio, obtiveram média de 697,5 g planta⁻¹. Pereira et al. (2017) obteve produção máxima também no terceiro ano, de 456 g planta⁻¹. Desse modo, pode-se enfatizar a potencialidade dos genótipos utilizados, uma vez que, no primeiro ano de cultivo, foi obtida produção superior a 400 g planta⁻¹, considerando os genótipos mais produtivos. Entretanto, maiores produtividades podem ser obtidas com a seleção de genótipos superiores de pinhão-manso. Assim, torna-se de grande importância a consolidação do programa de melhoramento do pinhão-manso, objetivando aumento e estabilidade na produtividade.

Deve-se salientar que o genótipo 29, proveniente do cruzamento entre genitores resistentes e não resistentes ao oídio apresentou maior média de produção. Desse modo, deve-se considerar esse genótipo, assim como seus genitores, nos blocos de cruzamento, juntamente com genótipos atóxicos, possibilitando, desse modo, a obtenção de genótipos com alto potencial produtivo, com característica atóxica e resistência ao oídio, o que se aproxima de um ideótipo de pinhão-manso.

Podemos observar que foi quatro o número de grupos ideal para representar a divergência entre os genótipos de pinhão-manso (Figura 3). Ou seja, dos 24 métodos utilizados para determinar o número de grupos, 9 propuseram a formação de 4 grupos distintos, ratificando a presença de variabilidade na população de estudo, possibilitando, desse modo, aplicar a seleção mais eficiente.

Entre os quatro grupos formados, o grupo I (azul claro) e grupo IV (azul escuro) foram formados por 17 e 3 genótipos, respectivamente, dos 70 genó-

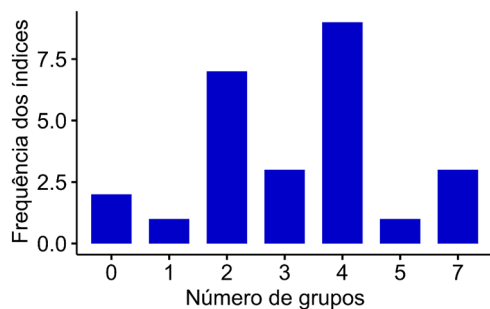


Figura 3. Frequência acumulada do número ideal de grupos proposto pelos 24 métodos utilizados.

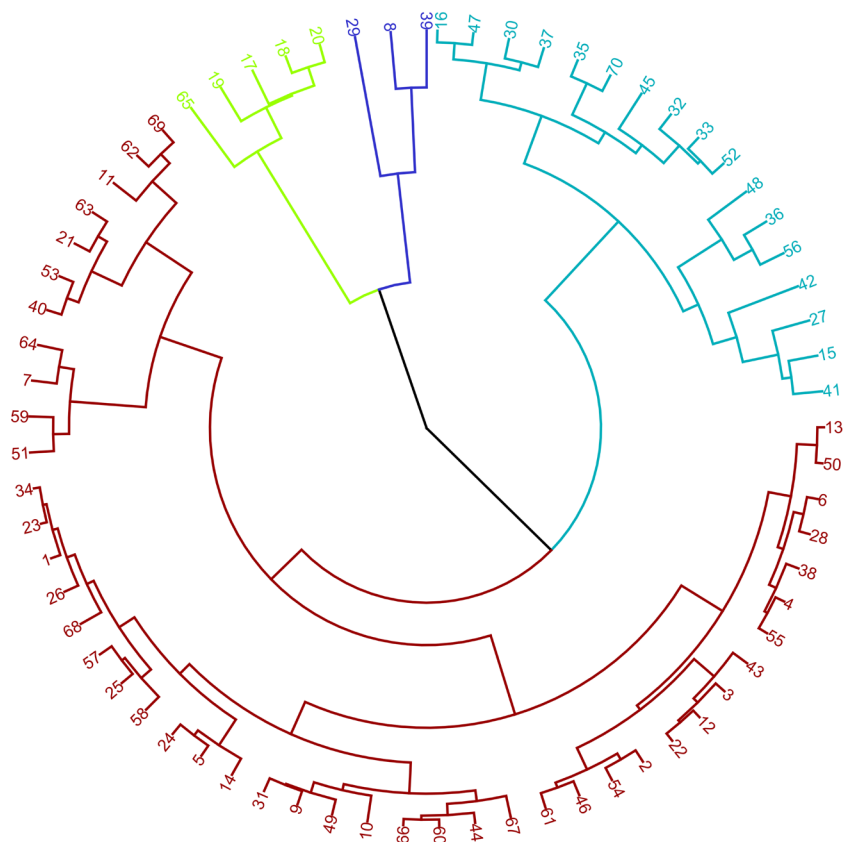


Figura 4. Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre os 70 genótipos de pinhão-mansinho, obtido pelo método "Average linkage", utilizando a distância de Mahalanobis como medida de dissimilaridade. Correlação cofenética (0,854). Brasília, DF.

tipos avaliados (Figura 4). Os genótipos contidos nesses dois grupos representam os genótipos mais produtivos. Podemos citar como exemplo os genótipos 29, 39 e 8, que possuem a primeira, segunda e quinta maior produção de grãos (Tabela 2).

Os genótipos 16, 27, 36, 37, 41 e 45 contidos no grupo I, além de produtivos, são provenientes de cruzamentos entre genitores atóxicos. Entretanto, os genótipos atóxicos apresentam menor produtividade e são ainda mais suscetíveis a doença. Todavia, esses genótipos foram alocados entre os genótipos mais produtivos, possibilitando, dessa forma, a utilização da torta dessa oleaginosa na alimentação animal. Isso porque, para a cadeia do biodiesel ser sustentável, é preciso utilizar todas as partes da planta, tanto o óleo quanto os subprodutos gerados.

Podemos observar que o grupo II reuniu genótipos provenientes de cruzamentos entre genitores atóxicos, resistente e não resistente a oídio. Como o grupo II conteve o maior número de genótipos, era esperado que ele apresentasse variabilidade dentro do grupo. Assim, possibilitaria a seleção de genótipos atóxicos, com considerável resistência ao oídio e boa produtividade.

O coeficiente de correlação cofenética (CCC) obtido foi de 0,854, o que representa um bom ajuste entre a matriz cofenética e a matriz de dissimilaridade construída com base na distância generalizada de Mahalanobis. Tal coeficiente indica boa confiabilidade dos agrupamentos estabelecidos.

A identificação de genótipos superiores com base na divergência genética é a estratégia mais adequada para um programa de melhoramento. Nesse caso, é mais efetivo realizar cruzamentos entre genótipos altamente divergentes com alto potencial produtivo, indicando assim as melhores combinações para cruzamentos. Dessa forma, considerando as distâncias entre grupos obtidas pelo método Tocher, as melhores estratégias de cruzamentos são entre os grupos “III e IV” e “I e IV”, pois estes apresentaram as maiores distâncias entre grupos (Figura 5).

Já as menores distâncias foram observadas entre os grupos “I e III”, “I e II” e “II e III”. Esse resultado é um indicativo de que hibridações entre esses genótipos podem acarretar geração de progênies muito similares, com base genética muito estreita. No entanto, dependendo da estratégia e do objetivo do programa de melhoramento, pode-se utilizar esse tipo de cruzamento,

considerado convergente, para facilitar o trabalho dos melhoristas na seleção de genótipos superiores em menor tempo, pois ambos genótipos possuem desempenho superior e importantes características agrônômicas, tais como produção de grãos.

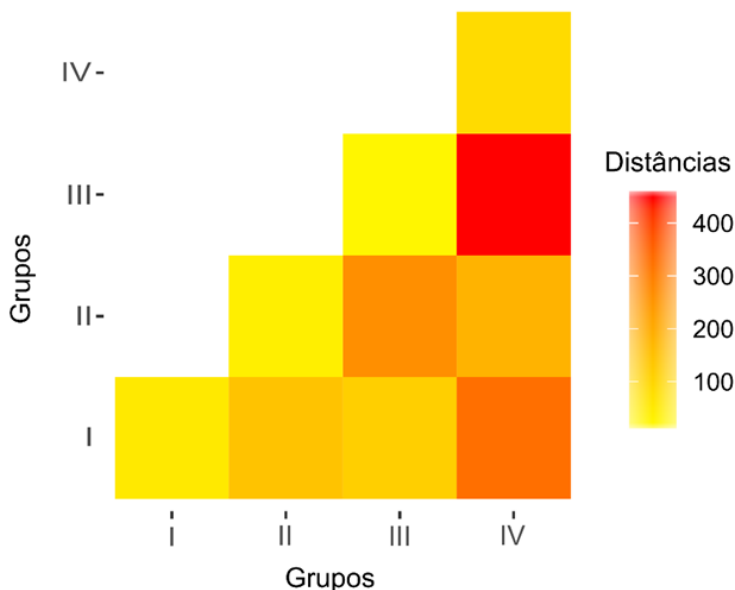


Figura 5. Distâncias médias dentro dos grupos na diagonal principal e entre grupos fora da diagonal principal correspondentes aos quatro grupos formados pelos 70 genótipos de pinhão-manso utilizando-se o método de Tocher. Brasília, DF.

Os dois primeiros componentes principais explicaram 100% de toda a variação, permitindo o estudo da dissimilaridade genética no espaço bidimensional com ótima precisão (Figura 6). Os grupos foram demarcados conforme o agrupamento de Tocher. Assim, pode-se observar a formação de quatro grupos, ficando evidente que, mesmo que os métodos de agrupamento empregados sejam diferentes, ocorreu similaridade na ordenação e formação dos grupos.

Como pode ser observado no dendrograma e na dispersão pelo componente principal, reuniram-se 64% e 72% dos genótipos, respectivamente, no maior grupo. Mesmo com o maior número de genótipos agrupados em ape-

Considerando o primeiro ano de cultivo, os genótipos 29, 39, 15, 27 e 8 apresentam potencial para serem utilizados como novas cultivares de pinhão-manso ou comporem os blocos de cruzamentos nos programas de melhoramento, visando a obtenção de progênies com alto potencial produtivo, resistente ao oídio e com características atóxicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa Agroenergia e à Embrapa Cerrados, pela infraestrutura e apoio técnico, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Referências

- ACHTEN, W. M. J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y. J.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; AERTS, R.; MUYS, B. *Jatropha* bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 12, p. 1063-1084, Dec. 2008. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.03.003.
- ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; FORMIGHIERI, E. F.; CARELS, N. Perennial plants for biofuel production: bridging genomics and field research. **Biotechnology Journal**, v. 10, n. 4, p. 505-507, 2015. DOI: 10.1002/biot.201400201.
- BHERING, L. L.; FELIPE, C.; ORTEGA, D.; GALVÊAS, B.; ALONSO, A.; BARBOSA, T.; DAMIÃO, C. Differential response of *Jatropha* genotypes to different selection methods indicates that combined selection is more suited than other methods for rapid improvement of the species. **Industrial Crops & Products**, v. 41, p. 260-265, Jan. 2013. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.04.026.
- BHERING, L.; CRUZ, C. D.; LAVIOLA, B. G. Biometria aplicada ao melhoramento de espécies alternativas para a produção de biodiesel. In: CARDOSO, D. L.; LUZ, L. N. da; PEREIRA, T. N. S. (Ed.). **Estratégias em melhoramento de plantas**. Viçosa: Arka, 2011. p. 89-119.
- CÁCERES, D.; PORTAS, A. A.; TESTA, J. E. A. **Pinhão-manso**. 2007. Artigo em hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/pinhaomanso/>. Acesso em: 17 mar. 2019.
- CHANGWEI, L.; KUN, L.; YOU, C.; YONGYU, S.; WENYUN, Y. Pollen viability, stigma receptivity and reproductive features of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica**, v. 27, n. 10, p. 1994-2001, 2007.
- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, July/Sept. 2013. DOI: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2012. v. 1, 514 p.
- KUMAR, A.; SHARMA, S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 1, p. 1-10, July 2008. DOI: 10.1016/J.INDCROP.2008.01.001.

LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT, J. C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso na fase jovem. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, p. 371-379, May/June 2011.

LAVIOLA, B. G.; RODRIGUES, E. V.; TEODORO, P. E.; PEIXOTO, L. de A.; BHERING, L. L. Biometric and biotechnology strategies in *Jatropha* genetic breeding for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 894-904, Sept. 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2017.03.116.

LAVIOLA, B. G.; SILVA, S. D. dos A. e; JUHÁSZ, A. C. P.; ROCHA, R. B.; OLIVEIRA, R. J. P. de; ALBRECHT, J. C.; ALVES, A. A.; ROSADO, T. B. Desempenho agrônômico e ganho genético pela seleção de pinhão-manso em três regiões do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 5, p. 356-363, maio 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000500005.

LIN, L.; CUNSHAN, Z.; VITTAYAPADUNG, S.; XIANGQIAN, S.; MINGDONG, D. Opportunities and challenges for biodiesel fuel. **Applied Energy**, v. 88, n. 4, p. 1020-1031, 2011. DOI: 10.1016/J.APENERGY.2010.09.029.

PANDEY, V. C.; SINGH, K.; SINGH, J. S.; KUMAR, A.; SINGH, B.; SINGH, R. P. *Jatropha curcas*: a potential biofuel plant for sustainable environmental development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2870-2883, June 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.004.

PEREIRA, J. C. da S.; EVANGELISTA, A. W. P.; LAVIOLA, B. G.; PORTES, T. de A.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D. Canopy growth and productivity of *Jatropha* genotypes. **Semina: ciencias agrarias**, v. 38, n. 1, p. 135-141, 2017. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n1p135.

RAO, R. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: John Wiles & Sons, 1952. 390 p.

REIS, M. V. M.; DAMASCENO JUNIOR, P. C.; CAMPOS, T. de O.; DIEGUES, I. P.; FREITAS, S. C. de. Genetic variability and association between characteristics in germplasm of the physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 412-420, abr./jun. 2015. DOI: 10.5935/1806-6690.20150021.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

REUBENS, B.; ACHTEN, W. M. J.; MAES, W. H.; DANJON, F.; AERTS, R.; POESEN, J.; MUYS, B. More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 2, p. 201-205, Feb. 2011. DOI: 10.1016/J.JARIDENV.2010.09.011.

ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; TEIXEIRA, A. L.; LAVIOLA, B. G.; SILVA, F. C. G. da; MILITÃO, J. S. L. T. Eficiência da seleção para incremento do teor de óleo do pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 44-50, jan. 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000100007.

SUNIL, N.; VARAPRASAD, K. S.; SIVARAJ, N.; SURESH KUMAR, T.; ABRAHAM, B.; PRASAD, R. B. N. Assessing *Jatropha curcas* L. germplasm *in-situ* – a case study. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 3, p. 198-202, Mar. 2008. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.09.003.

THE R FOUNDATION. **The R Project for Statistical Computing**. 2018. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

TRIPATHI, A.; MISHRA, D. K.; SHUKLA, J. K. Genetic variability, heritability and genetic advance of growth and yield components of *Jatropha* (*Jatropha curcas* Linn.) genotypes. **Trees**, v. 27, n. 4, p. 1049-1060, Aug. 2013. DOI: 10.1007/s00468-013-0856-2.

