

111

**Circular  
Técnica**Porto Velho, RO  
Outubro, 2009**Autores****Rodrigo Barros Rocha**Biólogo, D.Sc. em Genética e  
Melhoramento, Embrapa Rondônia, Porto  
Velho, RO, [rodrigo@cpafro.embrapa.br](mailto:rodrigo@cpafro.embrapa.br)**Alaerto Luiz Marcolan**Engenheiro Agrônomo, D.Sc.,  
Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO,**André Rostand Ramalho**Engenheiro Agrônomo, M.Sc.,  
Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO.**José Roberto Vieira Júnior**Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Embrapa  
Rondônia, Porto Velho, RO, .**Cléber de Freitas Fernandes**Farmacêutico, D.Sc., Embrapa  
Rondônia, Porto Velho, RO.**Victor Mouzinho Spinelli**Graduando em Biologia da Fundação  
Universidade Federal de Rondônia –  
UNIR, Porto Velho, RO.**Rodrigo da Silva Ribeiro**Graduando em Agronomia da  
UNIR, Porto Velho, RO.**Francisco Célio Gomes da Silva**Graduando em Química da UNIR, Porto  
Velho, RO.**Júlio Sanches L. Teixeira Militão,**Químico, PhD, Professor Adjunto, da  
UNIR, Porto Velho, RO

# Caracterização dos componentes de rendimento de óleo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)

## Introdução

O pinhão-manso (*Jatropha curcas*) é uma planta perene da família Euforbiaceae cujo potencial para produção de óleo tem sido considerado (HELLER, 1996; BRASIL, 1985; CORTESÃO, 1956). A aspiração de utilizar este cultivo como uma alternativa para a produção de biocombustíveis é um desafio para a pesquisa agropecuária brasileira, por causa da principalmente a carência de informações sobre este plantio (ALBUQUERQUE et al, 2008). A caracterização de acessos e a avaliação do controle genético são fundamentais para a seleção de materiais para plantio.

O óleo bruto dos grãos é a principal matéria-prima deste cultivo e seu rendimento depende de diversas características da planta associadas aos fatores edafoclimáticos. Entre os principais componentes da produtividade, destacam-se as características vegetativas da planta: o número de ramos, o diâmetro da copa, a altura das plantas, o volume de copa, a produtividade de grãos por árvore, e entre as características de qualidade da matéria-prima: o “peso de grãos”, “peso de amêndoas”, “peso de casca” (RAO, et al, 2008).

A decomposição da relação de causa e efeito entre uma variável principal (rendimento de óleo) e outras variáveis explicativas permite quantificar a importância das características para o rendimento final e a previsão das mudanças com a prática da seleção (CRUZ et al., 2004). O coeficiente de trilha proposto inicialmente por Wright (1923), permite desdobrar os coeficientes de correlação em seus efeitos diretos e indiretos sobre uma variável principal, obtidos por meio de análise de regressão parcial padronizada (CRUZ et al., 2004). Embora as estimativas de correlação sejam inerentes às características em avaliação, a decomposição destes valores depende da definição “a priori” da importância das variáveis explicativas para a variável principal e de suas possíveis inter-relações.

Algumas associações entre características de cultivo foram quantificadas em outros trabalhos (GINWAL et al., 2005; RAO et al., 2008). Ferrao e Ferrao (1984) citados por Heller (1996) observaram a ocorrência de correlações positivas e de alta magnitude entre o peso das sementes e o teor de óleo, assim como, correlações negativas entre o peso das sementes e o teor de fibras nas sementes. Heller (1996) observou a ocorrência de associação positiva entre a produtividade e o crescimento vegetativo da planta, que segundo este autor, deveu-se ao número total de flores produzidas e o comprimento total das brácteas.

O objetivo deste trabalho foi estimar por meio de análise de trilha com diagrama em cadeia simples, os efeitos diretos e indiretos de características vegetativas e de qualidade da matéria-prima sobre os componentes de rendimento de óleo em pinhão manso, visando desenvolver subsídios para o melhoramento genético deste cultivo.

## Material e Métodos

### Experimento de campo

Foram caracterizadas 236 plantas selecionadas ao acaso dentro de população de pinhão manso com 36 meses de cultivo em plantio localizado no Município de Ariquemes-RO (Latitude 9°55'24.50"S e Longitude 63° 7'15.58"O). O clima da região é tropical tipo Aw, quente e úmido, apresenta período seco bem definido com ocorrência de déficit hídrico nos meses de junho, julho, agosto e setembro,

temperatura média anual de 25° C, precipitação média anual de 2354 mm e evapotranspiração média anual de 851 mm (Normais climatológicas – 1961-1990). O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico, de textura muito argilosa.

O espaçamento adotado na cultura foi de 2 m x 3 m, sendo o plantio efetuado com mudas de um mês de crescimento em viveiro, formadas em sacola plásticas de volume de 2 litros. Durante o plantio foi colocado 100 g/cova de superfosfato simples. No segundo ano de plantio foi realizada a calagem superficial da área total com a aplicação de quatro toneladas de calcário por hectare (P.R.N.T 60 %). A adubação iniciou-se a partir do segundo ano com a aplicação de 50 g de uréia (H<sub>2</sub>N-CONH<sub>2</sub>), 40 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 g de K<sub>2</sub>O, por planta em cobertura, três meses antes das principais colheitas do cultivo na região, que acontecem entre os meses de dezembro e janeiro e entre os meses de junho e julho.

### Avaliações das plantas

Antes da colheita realizada aos 36 meses após o plantio, os seguintes caracteres vegetativos foram medidos: “altura de plantas” (m.arv<sup>-1</sup>), “número de ramos secundários”, “número de ramos terciários”, “diâmetro de copa no sentido do maior espaçamento” (m.arv<sup>-1</sup>), “diâmetro de copa no sentido do menor espaçamento” (m.arv<sup>-1</sup>) e “volume de copa” (m<sup>3</sup>). A “altura da planta” e o “diâmetro da copa” foram mensurados utilizando régua de 2,5 m graduada em centímetros.

O volume de copa foi estimado pela aproximação do volume de um cilindro de base elíptica:

$$V_{copa} = \left( \pi \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \frac{D_2}{2} \right) h$$

$V_{copa}$ : volume de copa (m<sup>3</sup>),  $\pi$ : 3,14159,  $D_1$ : diâmetro de copa no maior espaçamento (m),  $D_2$ : diâmetro de copa no menor espaçamento (m),  $h$ : altura (m).

Durante a colheita foi avaliada individualmente a “produtividade de grãos” (kg.arv<sup>-1</sup>). Após a colheita foram avaliadas individualmente as seguintes características de qualidade da matéria-prima: “peso de casca” (g.grão<sup>-1</sup>), “peso de amêndoas” (g.grão<sup>-1</sup>), “teor de óleo” (%), “rendimento de óleo por árvore” (l.arv<sup>-1</sup>).

As características de qualidade da matéria-prima foram avaliadas no Laboratório de Extração de Óleos da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), em Porto Velho, RO. Procedeu-se o trituramento das sementes inteiras e dos albumens, separadamente, com

quantificação gravimétrica. Ambos foram caracterizados, segundo normas do Instituto Adolf Lutz, que compreendem umidade e cinzas. As bateladas de extrações do óleo foram realizadas utilizando duas réplicas por amostra em extrator de Soxhlet com hexano, como solvente, com um tempo de quatro horas de extração e cerca de 200 g de amostra. Após a extração foram identificadas as amostras que apresentaram diferença entre repetições superior a 2 % do teor de óleo, que tiveram seu teor novamente quantificado em uma nova batelada. Após a extração, o material sólido foi transferido para a estufa até peso constante e a mistura (óleo mais hexano), e para recuperação do solvente foi utilizado um evaporador rotativo. A quantidade de óleo foi quantificada por gravimetria.

### Diagnóstico de multicolinearidade

As estimativas de correlações genotípicas ( $r_g$ ), fenotípicas ( $r_f$ ) e ambientais ( $r_a$ ), entre as características foram obtidas conforme Cruz et al., 2004, testadas a 1 % e 5 % de probabilidade pelo teste t, com n - 2 graus de liberdade. Foi realizada a diagnose da multicolinearidade, e o grau de multicolinearidade da matriz singular X'X com base no número de condição (NC), que é a relação entre o maior e o menor autovalor da matriz. Segundo Montgomery e Peck, (1981), se NC < 100, a multicolinearidade é denominada fraca e não constitui problema para a análise; se 100 < NC < 1000, a multicolinearidade é considerada de moderada a forte; e se NC > 1000, é considerada severa.

### Análise de trilha

As estimativas do coeficiente de trilha, obtidas a partir da matriz de correlação linear das variáveis padronizadas, representam a ação das variáveis explicativas, “produtividade de grãos” (kg.arv<sup>-1</sup>), “peso de casca” (g.grão<sup>-1</sup>), “peso de amêndoas” (g.grão<sup>-1</sup>), “teor de óleo” (%), “altura de plantas” (m.arv<sup>-1</sup>), “número de ramos secundários”, “número de ramos terciários”, “diâmetro de copa no sentido do maior espaçamento” (m), “diâmetro de copa no sentido do menor espaçamento” (m) e “volume de copa” (m<sup>3</sup>), sobre a variável principal “rendimento de óleo por árvore” (l.arv<sup>-1</sup>).

O diagrama causal que contempla componentes primários e secundários de produção considerando a relação lógica, aditiva entre as variáveis conforme metodologia proposta por Cruz et al., (2004) (Fig. 1). As setas unidirecionais no diagrama representam a influência direta de cada uma das variáveis explicativas, quantificadas pelo coeficiente de

caminhamento ( $\hat{p}_{yi}$ ). As setas bidirecionais representam a associação dos componentes, cuja magnitude e direção são dadas pelo coeficiente de correlação simples ( $r_{ii'}$ ). Seguindo o diagrama causal, as correlações fenotípicas padronizadas foram partilhadas em componentes de efeitos diretos ( $\hat{p}_{yi}$ ) e componentes de efeitos indiretos ( $r_{ii'} \cdot \hat{p}_{yi}$ ), de acordo com o modelo de caracteres primários e secundários que explicam a variação da característica principal. As análises foram efetuadas utilizando o PROC CALIS, e o software livre GENES (disponível em <http://www.ufv.br/dbg/genes/gdown.htm>). A estimação dos efeitos diretos e indiretos foi obtida pela resolução da operação matricial apresentada a seguir:

$$\begin{bmatrix} r_{y1} \\ r_{y2} \\ r_{y3} \\ r_{y4} \\ r_{y5} \\ r_{y6} \\ r_{y7} \\ r_{y8} \\ r_{y9} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} & r_{16} & r_{17} & r_{18} & r_{19} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & r_{24} & r_{25} & r_{26} & r_{27} & r_{28} & r_{29} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & r_{34} & r_{35} & r_{36} & r_{37} & r_{38} & r_{39} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & 1 & r_{45} & r_{46} & r_{47} & r_{48} & r_{49} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & 1 & r_{56} & r_{57} & r_{58} & r_{59} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} & r_{64} & r_{65} & 1 & r_{67} & r_{68} & r_{69} \\ r_{71} & r_{72} & r_{73} & r_{74} & r_{75} & r_{76} & 1 & r_{78} & r_{79} \\ r_{81} & r_{82} & r_{83} & r_{84} & r_{85} & r_{86} & r_{87} & 1 & r_{89} \\ r_{91} & r_{92} & r_{93} & r_{94} & r_{95} & r_{96} & r_{97} & r_{98} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{p}_{y1} \\ \hat{p}_{y2} \\ \hat{p}_{y3} \\ \hat{p}_{y4} \\ \hat{p}_{y5} \\ \hat{p}_{y6} \\ \hat{p}_{y7} \\ \hat{p}_{y8} \\ \hat{p}_{y9} \end{bmatrix}$$

Em que,  $r_{yi}$ : é a correlação entre a variável principal y “rendimento de óleo” e as variáveis explicativas;  $r_{ii'}$ : é o coeficiente de correlação entre a característica i com a característica i’;  $\hat{p}_{yi}$ : é a estimativa do efeito direto (ou coeficiente de caminhamento) entre a i-ésima variável sobre a variável principal y.

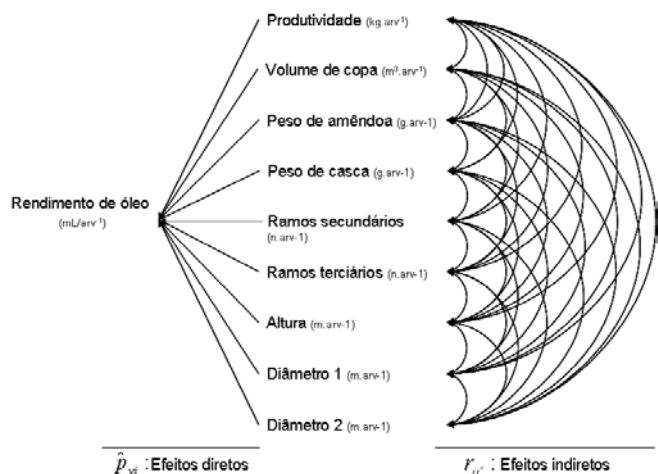


Fig. 1. Diagrama ilustrativo representando nas setas unidirecionais os efeitos diretos de nove variáveis explicativas sobre a variável principal “rendimento de óleo (l/arv<sup>-1</sup>)”. As setas bidirecionais representam os efeitos indiretos quantificados pelos coeficientes de correlação genotípica entre os caracteres explicativos. Fonte: Dados da pesquisa.

## Resultados e discussão

O rendimento da extração de óleo seja por prensagem ou por solventes, depende essencialmente do volume e do teor de óleo da matéria-prima utilizada no processo. Por outro lado em relação à produção de óleo dos acessos, várias características vegetativas influenciam no rendimento da planta, e o nível de associação entre estas características pode resultar em um mau acondicionamento da matriz de correlações padronizadas, utilizada para estimar os coeficientes de trilha.

Na ocorrência de multicolinearidade de intensidade moderada à severa, segundo classificação proposta por Montgomery e Peck, (1981) as variâncias associadas aos coeficientes de trilha podem atingir valores elevados, resultando em estimativas pouco confiáveis. A interpretação do número de condição (NC) indicou a ocorrência de multicolinearidade severa entre o conjunto total de características avaliadas (NC = 5022). Nestes casos, segundo Cruz et al., 2004, uma das estratégias é identificar as características que estão mais contribuindo para a multicolinearidade e promover o seu descarte. O descarte das características “peso total” e “teor de óleo no grão” resultou na redução do número de condição (NC = 102) e um melhor acondicionamento da matriz de correlação.

Observou-se que os componentes de produção influenciaram diferencialmente, de maneira direta ou indireta, o produto principal do cultivo (Tabela 1). A “produtividade de grãos” (kg.arv<sup>-1</sup>) e o “peso de amêndoas” (g.grão<sup>-1</sup>), foram as características que tiveram maior efeito direto sobre a característica principal. A soma dos efeitos diretos e indiretos da “produtividade de grãos” foi superior à soma dos efeitos de todas as outras características, indicando que a diferença de produtividade entre as plantas foi, neste momento, a característica mais importante para a identificação de materiais de rendimento superior de óleo. Esta característica foi também a que apresentou a maior variabilidade entre plantas (dados não mostrados).

O “peso de amêndoas” apresentou efeito direto sobre a variável principal e indireto via “produtividade”. O efeito direto deveu-se ao maior teor de óleo da amêndoa em relação aos outros constituintes do grão e indireto via “produtividade” porque foi um importante componente do peso dos grãos (ROCHA et al., 2008). O peso de casca apresentou efeito direto desprezível no rendimento de óleo e considerável sobre o peso de grãos, pois apesar de ser um componente do peso de grãos, não contribuiu para a produção de óleo (Tabela 1).

O volume de copa apresentou efeito indireto expressivo via “produtividade”. O diâmetro de copa

no sentido do maior espaçamento foi o que mais contribuiu para a produção (o comprimento de copa no maior espaçamento foi 12 % maior que no menor espaçamento). O “número de ramos secundários” e

“número de ramos terciários” contribuíram igualmente para o volume da copa. o volume de copa mostrou-se como um dos principais componentes da produtividade de grãos por árvore (Tabela 1).

**Tabela 1.** Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres produtivos, vegetativos e de qualidade da matéria-prima sobre o “rendimento de óleo” ( $l.arv^{-1}$ ).

Componentes de produção	Efeito direto	Peso grãos ( $kg.arv^{-1}$ )	Vol. copa ( $m^3.arv^{-1}$ )	Peso amên. ( $g.grão^{-1}$ )	Peso casc. ( $g.grão^{-1}$ )	Ram. sec. (n)	Ram. terc. (n)	Alt. ( $m.arv^{-1}$ )	$D_1$ ( $m.arv^{-1}$ )	$D_2$ ( $m.arv^{-1}$ )	Efeito total
Peso de grãos ( $kg.arv^{-1}$ )	0,931		-0,018	0,024	-0,021	-0,011	0,008	0,006	0,010	-0,002	0,926
Vol. copa ( $m^3.arv^{-1}$ )	-0,042	0,431		-0,001	-0,008	-0,021	0,016	0,007	0,021	-0,006	0,397
Peso amên. ( $g.grão^{-1}$ )	0,151	0,194	0,000		-0,079	-0,003	0,003	0,000	-0,001	0,000	0,266
Peso casc. ( $g.grão^{-1}$ )	-0,090	0,230	-0,004	0,106		-0,007	0,006	0,002	0,001	-0,001	0,243
Ram. sec. (n)	-0,044	0,243	-0,020	0,009	-0,014		0,032	0,004	0,011	-0,003	0,218
Ram. terc. (n)	0,033	0,243	-0,020	0,009	-0,015	-0,042		0,004	0,011	-0,003	0,220
Altura ( $m.arv^{-1}$ )	0,015	0,369	-0,020	0,001	-0,010	-0,011	0,009		0,008	-0,001	0,360
$D_1$ ( $m.arv^{-1}$ )	0,024	0,405	-0,038	-0,003	-0,004	-0,020	0,015	0,005		-0,005	0,379
$D_2$ ( $m.arv^{-1}$ )	-0,007	0,252	-0,035	0,003	-0,012	-0,018	0,014	0,003	0,015		0,214

Fonte: Dados da pesquisa.

## Conclusões

A “produtividade de grãos ( $kg.arv^{-1}$ )” e o “peso de amêndoas ( $g.arv^{-1}$ )” foram as características que apresentaram o maior efeito direto sobre a característica principal, “rendimento de óleo ( $l.arv^{-1}$ )”.

O “volume de copa ( $m^3.arv^{-1}$ )” mostrou-se como um dos principais componentes de efeito indireto sobre o “rendimento de óleo”.

## Agradecimentos

Ao CNPq que possibilitou a realização deste trabalho com o apoio financeiro ao projeto “Desenvolvimento de tecnologia para a produção agrícola energética no Estado de Rondônia”.

## Referências

- ALBUQUERQUE, F. A. de; OLIVEIRA, M. I. P. de; LUCENA, A. M. A. de; BARTOLOMEU, C. R. C.; BELTRÃO, N. E. de M. **Crescimento e desenvolvimento do pinhão manso: 1º ano agrícola.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 21 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 197).
- BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais.** Brasília, DF: STI/CIT, 1985. 364p. (Documentos, 16).
- CORTESÃO, M. **Culturas tropicais: plantas oleaginosas.** Lisboa: Clássica, 1956. 231p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético,** Viçosa, MG: UFV, 2004. v.1, 480p.
- GINWAL, H.S.; PHARTYAL, S.S.; RAWAT, P.S.; SRIVASTAVA, R.L. Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* (L.), in Central India. **Silvae Genetica,** Frankfurt, v.54, p.76-80, 2005.

HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas*):** promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996. 66p.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis.** New York: J. Wiley, 1981. 504p.

RAO, G. R.; KORWAR, G. R.; SHANKER, A. K.; RAMAKRISHMA, Y. S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. **Trees; structure and function**, New York, v.22, p.697-709, 2008.

ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; HOLANDA FILHO, Z. F.; SPINELLI, V. M.; SILVA, F. C. G. da. **Avaliação da variabilidade do peso médio de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas*).** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2008. 4 p. (Embrapa Rondônia. Circular Técnica, 104).

WRIGHT, S. **Theory of path coefficients.** Genetics, New York, v.8, p.239-285, 1923.

**Circular  
Técnica, 111**

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,  
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
Embrapa Rondônia  
BR 364 km 5,5, Caixa Postal 406,  
CEP 76815-800, Porto velho, RO.  
Fone: (69)3901-2510, 3225-9384/9387  
Telefax: (69)3222-0409  
[www.cpafrro.embrapa.br](http://www.cpafrro.embrapa.br)

**1ª edição**  
1ª impressão (2009): 100 exemplares

**Comitê de  
Publicações**

**Presidente:** *Cléberon de Freitas Fernandes*  
**Secretária:** *Marly de Souza Medeiros*  
**Membros:** *Abadio Hermes Vieira*  
*André Rostand Ramalho*  
*Luciana Gatto Brito*  
*Michelliny de Matos Bentes-Gama*  
*Vânia Beatriz Vasconcelos de Oliveira*

**Expediente**

**Normalização:** *Daniela Maciel*  
**Revisão de texto:** *Wilma Inês de França Araújo*  
**Editoração eletrônica:** *Marly de Souza Medeiros*