

Crescimento e produtividade de *Jatropha curcas* L. sob diferentes doses de nitrogênio

Víctor Alves Amorim, Camila Lariane Amaro, Diego Braga de Oliveira, Liana Verônica Rossato, Larissa Pacheco Borges, Fabio Santos Matos

Universidade Estadual de Goiás, Rodovia GO 330, Km 241 Anel Viário, s/n, CEP 75780-000, Ipameri, GO, Brasil, E-mails: fabio.agronomia@hotmail.com, victor.alves.a@gmail.com, camila.lariane@gmail.com, diego.braga.oliveira@gmail.com, liana.rossato@gmail.com, larissa.pb@hotmail.com

Resumo: O nitrogênio é determinante no estabelecimento, crescimento vegetativo e reprodutivo de plantas de *Jatropha curcas* e representa o nutriente requerido em maior quantidade por esta espécie, no entanto, não existe recomendação de adubação nitrogenada para o pinhão manso e o manejo segue as rotinas estabelecidas para *Ricinus communis*. O presente estudo teve como objetivo identificar e recomendar a adequada adubação nitrogenada para o crescimento inicial e produtividade de plantas de *J. curcas*. O experimento foi conduzido por dois anos consecutivos no campo experimental da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Ipameri, Brasil. Foram utilizadas plantas de *J. curcas* com um ano de idade implantadas no espaçamento de 3 x 2 m. O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos, sendo compostos de doses de nitrogênio (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹), cinco repetições e parcela de uma planta útil. Os dados foram submetidos as análises de regressão linear e quadrática e multivariada de componentes principais e regressão múltipla. O rendimento de grãos em plantas de *J. curcas* está intimamente relacionado com a concentração foliar de nitrogênio e, portanto, o monitoramento do nível adequado deste nutriente pode ser feito por análise foliar visando maiores rendimentos em concentrações foliares em torno de 29,7 g de N por kg⁻¹ de matéria seca. Recomenda-se a dose de 44 kg ha⁻¹ de N nos primeiros dois anos de cultivo para obtenção de plantas de *J. curcas* com vigoroso crescimento vegetativo e rendimento de grãos de aproximadamente 1132 kg ha⁻¹.

Palavras chave: Biocombustível, Nutrição mineral, Pinhão manso.

Growth and yield of *Jatropha curcas* L. under different nitrogen doses

Abstract: Nitrogen is determinant to establishment, vegetative and reproductive growth of *Jatropha curcas* plants and represent the most required nutrient for the specie, however, there is no recommendation of nitrogen fertilization for *Jatropha curcas* and the management follows the routines established for *Ricinus communis*. The present study aimed to identify and recommend the appropriate nitrogen fertilization for the initial growth and yield of *J. curcas* plants. The experiment was carried out for two years in the experimental field of Goiás State University, Ipameri Campus, Brazil. One-year-old *J. curcas* plants were used in 3x2 m spacing. The experiment followed randomized block design with five treatments, consisting in nitrogen doses (0, 20, 40, 60 and 80 kg ha⁻¹), five replications and one plant per parcel. The data were submitted to linear and quadratic regressions, principal component analysis and multiple regression. *J. curcas* grain yield is closely related to leaf nitrogen concentration, and therefore, monitoring the appropriated level of this nutrient can be done by leaf analysis aiming higher yields at 29.7 g of nitrogen in the leaves (N kg⁻¹ per dry matter). The 44 kg ha⁻¹ of N dose is recommended in the first two years of cultivation to obtain plants with vigorous vegetative growth and grain yield arounds 1132 kg ha⁻¹.

Keywords: Biofuel, Mineral nutrition, Physic nut.

Introdução

A emissão de gases do efeito estufa por ações antrópicas compromete os recursos naturais e aumenta a necessidade de fontes renováveis de energia para reduzir os impactos ao meio ambiente. As consequências ambientais promovidas pelo dióxido de carbono liberado da queima de combustíveis fósseis são significativas e duradoura devido à escala de destruição e à longevidade dos impactos (Schrag, 2018). A substituição do combustível fóssil por biocombustível faz-se possível e viável por serem sustentáveis devido à propriedade biodegradável, apresentando-se como alternativa menos agressiva ao meio ambiente (Gaurav et al., 2017).

As pesquisas desenvolvidas e as ações políticas através da criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel [PNPB] no Brasil têm incentivado a fabricação deste combustível para substituição de uma fração do diesel proveniente de petróleo através da mistura gradativa de biodiesel (Nogueira & Capaz, 2017). A lei 13.263/2016 determinou que a partir de março de 2017 fosse obrigatória a adição de 8% de biodiesel ao petrodiesel distribuído nas refinarias do Brasil. Este programa amplificou a produção de biodiesel de forma que em 2017 a capacidade instalada foi cerca de quatro milhões de m³ com 44% dessa produção situada na região centro-oeste do Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Óleo, Gás e Biodiesel [ANP] (2018).

A ampla área agricultável, abundância hídrica, diversidade de clima e mão de obra torna o Brasil apto para a produção de biocombustível com exploração de várias espécies vegetais como fontes de matéria prima (Silva et al., 2017). O biodiesel produzido no Brasil é alicerçado em duas principais matérias-primas: soja (76,26%) e gordura bovina (15,34%) (ANP, 2018). Para o incremento sustentável da produção de biodiesel é crucial a exploração de outras espécies vegetais potenciais como a *J. curcas* por tornar o sistema produtivo menos vulnerável às intempéries ambientais.

A espécie *J. curcas* popularmente conhecida como pinhão-mansão, possui sementes com elevado teor de óleo e aptidão para a produção de biodiesel (Kamel et al., 2018). A planta dispõe de múltiplas utilidades e pode ser destinada à produção de sabão, combustível para lâmpadas, cerca viva, controle da erosão e o uso do látex como medicamento curativo,

homeostático e purgativo (Moniruzzaman et al., 2017). Esta planta pode chegar a cinco metros de altura e alcançar o clímax produtivo no quarto ano em campo com possibilidade de obtenção de 1200 a 1500 litros/ha de óleo, com percentual variando de 33 a 38% de óleo na semente (Teodoro et al., 2016).

J. curcas é uma planta rústica, tolerante ao déficit hídrico, à elevadas temperaturas, salinidade e pode ser cultivada em solos de baixa fertilidade, no entanto, maiores produtividades podem ser obtidas com fornecimento adequado de nutrientes minerais (Matos et al., 2014a & Kumar et al., 2017). O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade por plantas de *J. curcas* (Laviola & Dias, 2008) e é determinante no estabelecimento, crescimento vegetativo e produtividade da cultura (Madhaiyan et al., 2015). Matos et al. (2014a) encontrou relação positiva entre adubação nitrogenada e produtividade de grãos. Segundo Martins et al. (2015), o nitrogênio possui fundamental importância no desenvolvimento vegetativo, formação de botões florais e frutos da planta. Em adição, o nitrogênio é importante constituinte da molécula de clorofila e determinante na quantidade de camadas de parênquima paliçádico e consequente espessura foliar, além disso, exerce papel fundamental da área foliar (Taiz & Zaiger et al., 2017).

O aumento da exploração comercial desta cultura depende da elucidação de aspectos agrônômicos básicos para recomendação comercial. Apesar de alcançar o clímax produtivo no quarto ano de cultivo, a espécie inicia a produção de frutos aos oito meses de idade e possivelmente apresente elevada demanda de nitrogênio na fase inicial de desenvolvimento em campo. O presente estudo teve como objetivo identificar e recomendar a adequada adubação nitrogenada para o crescimento inicial e produtividade de plantas de *J. curcas*.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em dois anos consecutivos no campo experimental da Universidade Estadual de Goiás [UEG], Campus Ipameri (17°67'90" S, 48°19'59" W e altitude de 805 m), Ipameri, Goiás, Brasil. A região possui clima tropical com inverno seco e verão úmido (Aw) de acordo com a classificação de Köppen. Há duas estações bem definidas: a chuvosa que

vai de outubro a março e a seca que vai de abril a setembro. O solo da área experimental com 2% de declividade possui 29% de argila, 20% de silte e 51% de areia e é classificado como Latossolo Vermelho-amarelo de textura média de acordo com a Embrapa (2013).

Com base no resultado da análise de solo mostrada na Tabela 1 realizou-se a calagem a lanço sem incorporação no solo em setembro de 2015 com objetivo de elevar a saturação de base para 60% e aplicados 90 kg ha⁻¹ de potássio e 60

kg ha⁻¹ de fósforo. Seguindo recomendações de Laviola e Dias (2008) e Matos et al. (2014a) o nitrogênio e o potássio foram fornecidos em duas e quatro aplicações quinzenais respectivamente. O fósforo foi fornecido em apenas uma aplicação na data inicial das adubações. Todos os fertilizantes foram aplicados após a primeira chuva do mês de novembro em 2015 e outubro em 2016 em semicírculo seguindo a projeção da copa e afastando-se 20 cm do caule.

Tabela 1 - Resumo das análises químicas do solo realizadas no mês de setembro de 2015 e 2016 a 20 cm de profundidade.

Ano	pH CaCl ₂	M.O. (g dm ⁻³)	P-Mehlich (mg dm ⁻³)	Complexo Sortivo (cmol.dm ⁻³)						V%
				K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	
2015	4,9	33,0	7,4	0,2	3,5	0,9	0,0	5,0	9,61	47,9
2016	5,1	46,0	11,6	0,2	4,2	1,6	0,0	3,9	9,91	60,7

M.O. = Matéria orgânica; V% = saturação de bases; CTC = Capacidade de troca de cátions.

Foram utilizadas plantas de *J. curcas* com um ano de idade, implantadas em outubro de 2014 no espaçamento de 3 x 2 m. Os experimentos foram montados em anos seguidos de forma independente, mas os tratamentos foram repetidos nas mesmas plantas seguindo o delineamento em blocos casualizados em arranjo Split plot com cinco doses de nitrogênio (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹) nas parcelas e anos de cultivo (1^o e 2^o ano) nas sub parcelas, cinco repetições e uma planta útil na parcela. A uréia, super simples e cloreto de potássio foram às fontes utilizadas para a adubação de nitrogênio, fósforo e potássio respectivamente. As análises fisiológicas e nutricionais foram realizadas em março de 2016 e 2017 com as seguintes avaliações: altura de planta, diâmetro do caule e copa, número de ramos e de estômatos, nas epidermes abaxial e adaxial, teor de nitrogênio foliar, concentrações foliares de clorofilas e carotenóides totais e produtividade de grãos.

Variáveis analisadas

A altura de planta e diâmetro do caule foram mensurados a cinco cm do solo utilizando régua graduada e paquímetro digital respectivamente. O diâmetro da copa foi medido no sentido Leste-Oeste da copa com auxílio de trena graduada. O número de ramos foi mensurado mediante a contagem.

Uma réplica das superfícies adaxial e abaxial das folhas foram retiradas com supercola na região do terço médio das folhas seguindo recomendações de Oliveira, et al. (2016). A contagem de estômatos foi realizada na réplica com auxílio de microscópio óptico munido com câmara clara. A densidade estomática foi determinada através da contagem de estômatos situada em 1 mm².

Para a determinação dos teores de nitrogênio utilizou-se folhas totalmente expandidas, sadias, sem ataque de pragas e doenças, localizados entre o quarto e quinto par de folhas abaixo da inflorescência. O material vegetal amostrado foi colocado em estufa de circulação forçada de ar a 72 °C até atingir massa constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas, moídas e submetidas à análise química seguindo recomendações de Cataldo, Schrader e Youngs (1974).

As colheitas dos frutos foram realizadas manualmente quando apresentaram coloração marrom-escuro. Depois de colhidos e descascados, foram colocados para secar até alcançarem umidade de 13% e finalmente pesados.

Para a determinação da concentração de clorofilas totais foram retirados dois discos foliares de 0,6 cm de diâmetro e colocados em

vidros contendo dimetilsulfóxido (DMSO). Posteriormente foi feita a extração em banho-maria à 65 °C por uma hora. Alíquotas foram retiradas para leitura espectrofotométrica a 480, 646 e 663 nm. O conteúdo de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*) e carotenóides totais foram determinados seguindo a equação proposta por Wellburn (1994).

Procedimento estatístico

Os experimentos foram montados seguindo o delineamento em blocos casualizados em arranjo split plot com as doses de nitrogênio nas parcelas e tempo de avaliação (1^o e 2^o ano) nas subparcelas. Os resultados foram submetidos à análise de regressão a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Assistat (Silva & Azevedo, 2016). As análises multivariadas foram feitas por meio das técnicas de componentes principais utilizando-se uma matriz de correlação e o critério de seleção dos eixos por Broken stick aliado à análise de variância multivariada por permutação

- PERMANOVA (Anderson, 2001). Utilizou-se análise de regressão múltipla com a seleção de modelo *forward stepwise* (Sokal & Rolf, 1995) para avaliar o efeito das variáveis sobre a produtividade. Para a realização dessas análises foi utilizado o software R (R Core Team, 2018).

Resultados e discussão

As análises de variância para todas as análises encontram-se nas Tabelas 2 e 3. A altura de planta, diâmetro do caule e copa e número de ramos apresentaram em 2016 valores 10%, 231%, 5% e 51% superiores a 2015 respectivamente. A concentração foliar de clorofilas foi 21% superior no ano de 2015 em relação ao ano de 2016. A concentração foliar de nitrogênio, carotenóides, densidade estomática e produtividade de grãos não apresentaram diferenças significativas entre os anos avaliados.

Tabela 2 - Análise de variância, regressão e teste de média para altura (AP), diâmetro de caule (DC), diâmetro de copa (DCOP), concentração foliar de clorofilas (Cl *a+b*) e carotenóides totais (CAR) de plantas de *J. curcas* sob diferentes doses de nitrogênio (0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹).

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		AP (m)	DC (mm)	DCOP (m)	Cl (<i>a+b</i>) (g kg ⁻¹)	CAR (g kg ⁻¹)
Doses	4	0,109**	124,28 ^{NS}	0,088 ^{NS}	0,267 ^{NS}	0,026**
Ano	1	1,059**	819.371,52**	0,211*	3,51**	0,00007 ^{NS}
Ano x Doses	4	0,039**	430,19*	0,082 ^{NS}	0,81**	0,00071 ^{NS}
Erro 1	16	0,014	142,76	0,046	0,146	0,00068
Erro 2	20	0,006	126,08	0,039	0,074	0,00112
CV 1 (%)		3,98	5,01	8,57	17,16	7,86
CV 2 (%)		2,52	4,71	7,96	12,27	10,13
Ano		Médias				
	2015	2,83b	110,46b	2,44b	2,49a	0,33a
	2016	3,12a	366,48a	2,57a	1,96b	0,33a
		Regressão				
	Linear	**	ns	**	ns	**
	Quadrática	ns	**	**	ns	ns

**significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo pelo teste F. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula dentro da coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Newman-Keuls.

Tabela 3 - Análise de variância, regressão e teste de média para número de ramos (NR), densidade estomática (DE), teor de nitrogênio foliar (N) e produtividade média anual de grãos (PROD) de plantas de *J. curcas* sob diferentes doses de nitrogênio (0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹).

Fontes de variação	GL	Quadrado médio			
		NR	DE (mm ²)	N (g kg ⁻¹)	PROD (kg/ha)
Doses	4	347,2**	36,83*	1.042,43**	285.894,43**
Ano	1	7.787,52**	5,78 ^{NS}	6,934 ^{NS}	4.588,82 ^{NS}
Ano x Doses	4	49,72 ^{NS}	16,53 ^{NS}	1,348 ^{NS}	52.107,15 ^{NS}
Erro 1	16	56,3	11,65	7,103	13.887,11
Erro 2	20	35,93	9,48	5,977	21.412,02
CV 1 (%)		12,26	10,45	9,38	11,84
CV 2 (%)		9,79	9,43	8,61	14,71
Ano	Médias				
2015		48,72b	33,00a	28,77a	1.004,52a
2016		73,68a	32,32a	28,02a	985,36a
Regressão					
Linear		ns	ns	**	**
Quadrática		**	ns	ns	ns

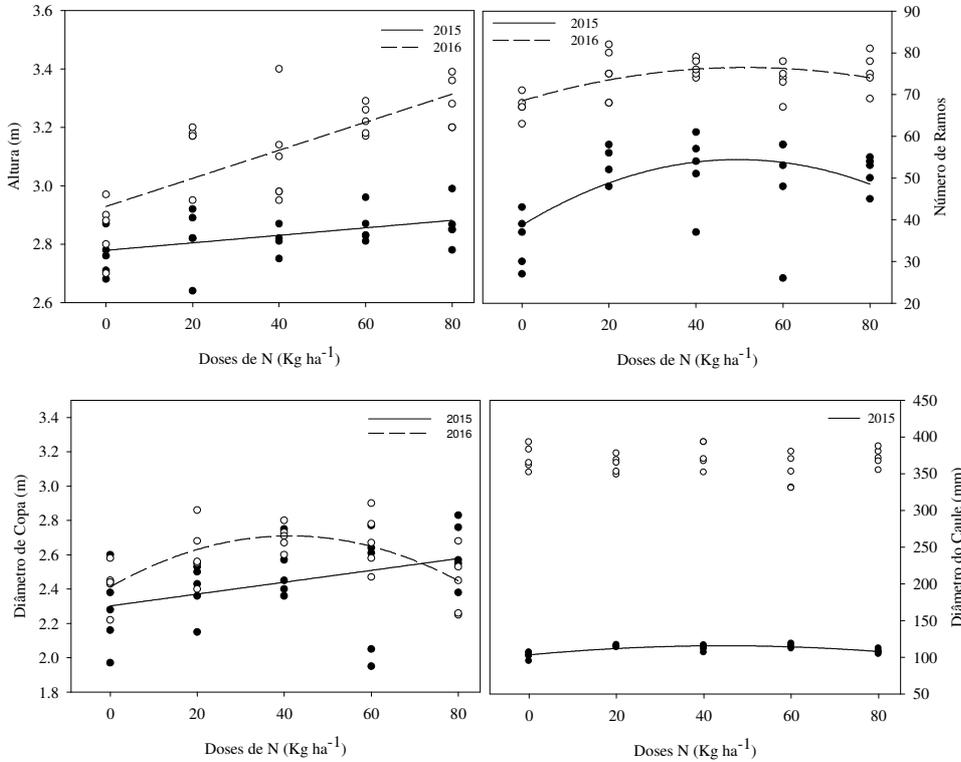
**Estatística semelhante a tabela 2.

A densidade estomática e concentração foliar de clorofilas não se ajustaram aos modelos de regressão. As variáveis de crescimento: altura de planta, número de ramos, diâmetros do caule e copa são mostradas na Figura 1. A altura de planta nos dois anos avaliados ajustou-se ao modelo de regressão linear. O número de ramos ajustou-se a curva de regressão quadrática nos dois anos com número máximo de 54 ramos na dose de 50 kg ha⁻¹ de N no 1º ano e 77 ramos na dose de 52 kg ha⁻¹ de N no 2º ano. O diâmetro de copa apresentou ajuste de regressão linear no 1º ano de avaliação e quadrático no 2º ano com máximo diâmetro de copa (2,7 m) obtido com 36

kg ha⁻¹ de N. O diâmetro de caule ajustou-se a curva de regressão apenas no 1º ano de cultivo com o máximo diâmetro sendo obtido com 44 kg ha⁻¹ de N.

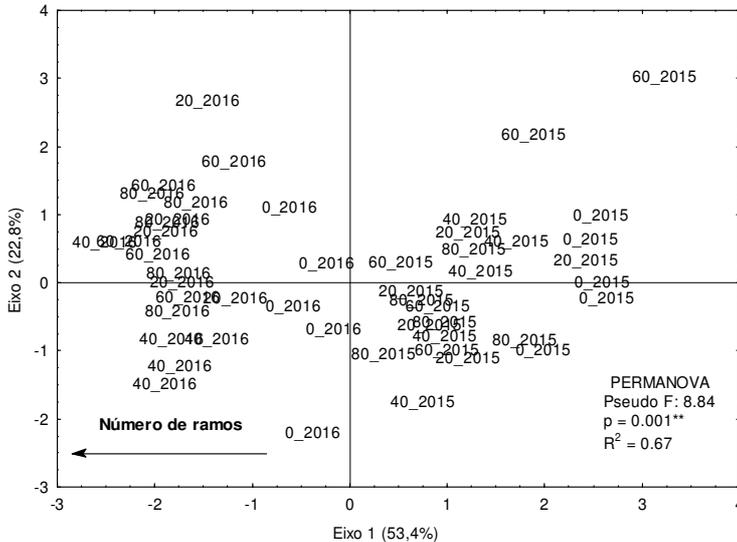
As concentrações de carotenoides totais e nitrogênio foliar se ajustaram ao modelo de regressão linear (Figura 2). A produtividade ajustou-se ao modelo quadrático. Estas variáveis não apresentaram diferenças entre os anos de avaliações e, dessa forma, as curvas representam os valores médios dos dois anos. A produtividade de grãos apresentou valor máximo (1131,55 kg ha⁻¹) com 44 kg ha⁻¹ de N.

Figura 1 - Equações de regressão para altura de planta (Ano 2015: $Y = 2,27789 + 0,0013x$, $R^2 = 0,98^{**}$; Ano 2016: $Y = 2,9292 + 0,0048x$, $R^2 = 0,98^{**}$), número de ramos (Ano 2015: $Y = 38,6857 + 0,6344x - 0,0064x^2$, $R^2 = 0,96^*$; Ano 2016: $Y = 68,4914 + 0,3119x - 0,0030x^2$, $R^2 = 0,99^*$), diâmetro da copa (Ano 2015: $Y = 2,3020 + 0,0790x$, $R^2 = 0,99^*$; Ano 2016: $Y = 2,4123 + 0,0144x - 0,0002x^2$, $R^2 = 0,99^*$) e diâmetro do caule (Ano 2015: $Y = 103,1783 + 0,5579x - 0,0063x^2$; $R^2 = 0,99^{**}$) de plantas de *J. curcas* sob diferentes doses de nitrogênio (0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹) avaliadas nos anos de 2015 e 2016.



**Significativo a 1% de probabilidade.

Figura 2 - Equações de regressão para carotenoides ($Y = 0,2776 + 0,0013x$, $R^2 = 0,99^{**}$), nitrogênio total ($Y = 15,5950 + 0,3201x$, $R^2 = 0,99$) e produtividade ($Y = 807,7046 + 14,7170x - 0,1672x^2$, $R^2 = 0,95^*$) de plantas de *J. curcas* sob diferentes doses de nitrogênio (0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹) avaliadas nos anos de 2015 e 2016.

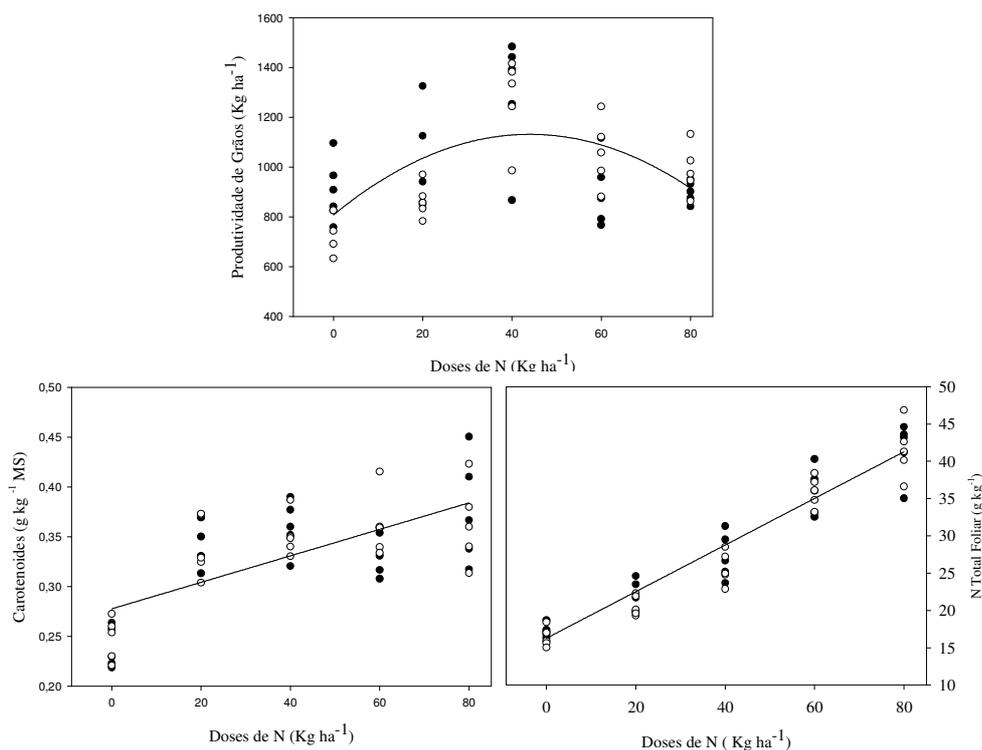


**Significativo a 1% de probabilidade

A análise dos componentes principais ordenou de forma significativa (Permanova - $P < 0,01$) os tratamentos em dois grupos divergentes pelo ano de avaliação e explica

77,1% da variação dos dados (Figura 3). A variável determinante para obtenção dos grupos distintos foi número de ramos.

Figura 3 - Ordenação dos escores da análise de componentes principais (PCA) para as variáveis analisadas em plantas de *J. curcas* sob diferentes doses de nitrogênio (0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹) avaliadas nos anos de 2015 e 2016. A seta indica o sentido em que cada variável com contribuição acima de 80% aumenta em relação ao eixo. Os tratamentos são identificados inicialmente pelas doses de nitrogênio (0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹) seguido pelo ano de avaliação.



A Tabela 4 refere-se à recomendação de adubação com base no rendimento de grãos e na concentração de foliar de nitrogênio. A

produtividade máxima foi obtida com uma adubação de 44 kg ha⁻¹ de N nos solo e concentração foliar de 29,7 g kg⁻¹ de N.

Tabela 4 - Recomendação de adubação nitrogenada baseada na concentração de nitrogênio foliar e produtividade de grãos de *J. curcas*, fertilizadas com diferentes doses de nitrogênio (0; 20; 40; 60 e 80 kg ha⁻¹).

Doses (kg ha ⁻¹)	Concentração foliar de N (g kg ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
0	15,6	807,7
20	22,0	1035,4
40	28,4	1128,9
44*	29,7	1131,6
60	35,0	1088,8
80	41,2	915,0

*Dose de nitrogênio recomendada.

Os resultados indicam e fundamentam a necessidade de cuidado especial na adubação nitrogenada justificada pela interferência decisiva no crescimento vegetativo e reprodutivo de plantas de *J. curcas*. Matos et al. (2014a) alerta para os incrementos de produtividade proporcionados pelo nitrogênio em plantas adultas, no entanto, o presente estudo esclarece aspectos agrônômicos importantes e escassos na literatura ao propor recomendação de adubação nitrogenada em plantas jovens em pleno desenvolvimento vegetativo.

Os resultados demonstram diferenças nas variáveis de crescimento e fisiológicas (altura de planta, diâmetro do caule e copa, clorofilas totais e número de ramos) entre os anos avaliados em função do estágio fenológico das plantas analisadas neste trabalho. Por se tratar de plantas jovens em pleno desenvolvimento vegetativo é comum o incremento acelerado do crescimento nos primeiros anos pelo particionamento de assimilados para formação de órgãos primários como raiz, caule e folhas, principalmente por *J. curcas* ser uma espécie de rápido crescimento e estabelecimento (Dias et al., 2007). A ausência de diferenças na concentração foliar de carotenoides e densidade estomática durante os anos de avaliações são indicativos de condições edafoclimáticas desprovidas de estresses significativos, tanto que a produtividade máxima de grãos são muito superiores aos 200 kg ha⁻¹ e 37 kg ha⁻¹ relatados por Dias et al. (2007) e Matos et al. (2014b) respectivamente.

As crescentes doses de nitrogênio proporcionaram aumentos lineares da altura de planta, nitrogênio foliar, concentração foliar de carotenoides totais e diâmetro de copa no 1º ano de cultivo. Estes resultados possivelmente estão relacionados com a necessidade de pigmentos acessórios para absorção de energia luminosa e produção de assimilados para custear o vigoroso crescimento vegetativo da espécie nos estádios iniciais de desenvolvimento. Segundo Freitas, Araújo, Matos, Missio e Dias (2012) a fotossíntese e o acúmulo de biomassa de plantas de *J. curcas* aumentam de forma linear com o acréscimo da dose de nitrogênio.

É comum em plantas de *J. curcas* ocorrer o incremento da concentração foliar de nitrogênio e/ou o intenso crescimento vegetativo sob doses crescentes deste nutriente (Carvalho et al, 2013, Simões et al., 2014, Kurihara & Silva, 2015). Em adição, a elevada demanda de assimilados para o

crescimento vegetativo e reprodutivo certamente alocou significativo percentual de nitrogênio para rubisco com conseqüente maximização das taxas de carboxilação e produtividade. Segundo Taiz e Zaiger (2017) e Warren e Adams (2004), as espécies vegetais alocam de 50 a 75% do nitrogênio foliar para o aparato fotossintético, sendo a rubisco uma importante forma de armazenamento de nitrogênio.

O ajuste quadrático de regressão para diâmetro de copa no 2º ano de cultivo é indicativo de alcance de ótimo índice de área foliar com 36 kg ha⁻¹. O número de ramos é a variável vegetativa que apresenta maior correlação com a produtividade de grãos em plantas de *J. curcas*, pois as inflorescências e frutos surgem nos ápices dos ramos. Alguns trabalhos com esta espécie indicam que a produção de grãos guarda estreita dependência do número de ramos (Fey et al., 2014 & Oliveira et al., 2016).

A produção de grãos apresentou dose de nitrogênio para a máxima produtividade de grãos inferior às doses encontradas para o máximo número de ramos. Apesar da forte relação entre estas variáveis é verificado em campo que não são todos os ramos que originam inflorescências e frutos, dessa forma, é coerente a asserção de que parte do nitrogênio alocado para os ramos não resultaram em produção de grãos e, por isso, a quantidade de nitrogênio para o máximo número de ramos é superior ao requerido para produtividade de grãos. A análise de componentes principais ordenou os dois anos de cultivo em diferentes grupos em função do número de ramos, indicando ser esta variável uma premissa para a produtividade de grãos em plantas de *J. curcas*.

Os resultados demonstram que apesar da espécie *J. curcas* ser rústica e adaptada a diversas condições edafoclimáticas, o crescimento e produtividade de grãos é dependente da adubação nitrogenada e disponibilidade foliar deste nutriente.

Conclusões

O rendimento de grãos de *J. curcas* está intimamente relacionado com a concentração foliar de nitrogênio e, portanto, o monitoramento do nível adequado deste nutriente pode ser feito por análise foliar visando maiores rendimentos

em concentrações foliares em torno de 29,7 g de N por kg⁻¹ de matéria seca.

Recomenda-se a dose de 44 kg ha⁻¹ de N nos primeiros dois anos de cultivo para obtenção de plantas de *J. curcas* com vigoroso crescimento vegetativo e rendimento de grãos de aproximadamente 1132 kg ha⁻¹.

Referências

- Agência Nacional de Óleo, Gás e Biodiesel. (2018). *Biodiesel*. Recuperado em 15 novembro, 2018, de <https://www.anp.gov.br/>.
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Australian Ecology*, 26 (1), 32-46.
- Carvalho, et al (2013). Pinhão-manso: crescimento sob condições diferenciadas de irrigação e de adubação no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (5), 487-496. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000500004>
- Cataldo, D. A., Schrader, L. E., & Youngs, V. L. (1974). Analysis by digestion and colorimetric assay of total nitrogen in plant tissues high in nitrate. *Crop Science*, 14, 854-856.
- Dias, L. A. S., et al. (2007). *Cultivo de pinhão-manso (Jatropha curcas L.) para produção de óleo combustível*. (40p). Viçosa: UFV.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, (3 ed.rev. ampl., 353p). Brasília: Embrapa Solos.
- Fey, R., et al (2014). Relações interdimensionais e produtividade de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em sistema silvipastoril. *Semina: Ciências Agrárias*, 35 (2), 613-624.
- Foundation for Statistical Computing. (2018). R Core Team *R: A language and environment for statistical computing*. [Programa de computador]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado em 30 julho, 2018, de <https://www.R-project.org/>.
- Freitas, R.G., et al (2012). Desenvolvimento de mudas de pinhão manso sob diferentes doses de nitrogênio. *Revista Agrotecnologia*, 3 (2), 24-35. DOI: <https://doi.org/10.12971/2179-5959.v03n02a03>
- Gaurav, N., et al (2017). Utilization of bioresources for sustainable biofuels: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 205-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.070>
- Kamel, D. A., et al (2018). Smart utilization of *Jatropha (Jatropha curcas* Linnaeus) seeds for biodiesel production: Optimization and mechanism. *Industrial Crops and Products*, 111, 407-413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.029>
- Kumar, A., et al (2017). Irrigation Scheduling and Fertilization Improves Production Potential of *Jatropha (Jatropha curcas* L.): A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (5), 1703-1716. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.185>
- Kurihara, C. H., & Silva, C. J. (2015). Diagnostic leaf to evaluate the nutritional status of *Jatropha*. *Revista Ceres*, 62 (6), 607-613. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562060014>
- Laviola, B. G., & Dias, L. A. S. (2008). Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32 (5), 1969-1975. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500018>
- Madhaiyan, M., et al (2015). Leaf-residing Methylobacterium species fix nitrogen and promote biomass and seed production in *Jatropha curcas*. *Biotechnol for Biofuels*, 8 (222), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0404-y>
- Martins, L. D., et al (2015). Simultaneous selection of physic nut genotypes (*Jatropha curcas* L.) for efficient absorption and utilization of N and P. *Australian Journal of Crop Science*, 9 (3), 248-255.

- Matos, F. S., et al (2014b). Viabilidade agrônômica do consórcio entre pinhão manso e soja. *Revista Agrarian*, 7 (24), 226-232.
- Matos, F. S., et al (2014a). Response of *Jatropha curcas* plants to changes in the availability of nitrogen and phosphorus in oxissol. *Academic Journals*, 9 (49), 3581-3586.
- Moniruzzaman, M., et al (2017). Jatropha Biofuel Industry: The Challenges. *Frontiers in Bioenergy and Biofuels*, 1 (12), 23-256. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/64979>
- Nogueira, L. A. H., & Capaz, R. S. (2017). Incentives and barriers for liquid biofuels in Brazil. *Handbook of Bioenergy Economics and Policy*, 2, 65-88.
- Oliveira, J. P. M., et al (2016). Phenotypic characterization of physic nut populations. *African Journal of Agricultural Research*, 11 (45), 4559-4566. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11647>
- Schrag, D. P. (2018). The timescales of climate change. *ReVista (Cambridge)*, 18 (3), 2-82.
- Silva, F. A. S., & Azevedo, C. A. V. (2016). The Assitat Software version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal Agricultural Research*, 11 (39), 3733-3740. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>
- Silva, L. M., et al (2017). Temperature and maturation stage: its effects on the germination of *Jatropha* seeds. *Journal of Seed Science*, 39 (1), 27-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v39n1166552>
- Simões, W. L., et al (2014). Desenvolvimento inicial e respostas fisiológicas do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Biociências*, 12 (4), 188-195.
- Sokal, R. R., & Rolf, F. J. (1995). *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research* (3 ed.). New York: W. H. Freeman.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2017). *Fisiologia vegetal*. (888p). Porto Alegre: ArtMed.
- Teodoro, P. E., et al (2016). Mixed models identify physic nut genotypes adapted to environments with different phosphorus availability. *Genetics and molecular research*, 15 (3), 1- 8. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15038429>
- Warren, C. R., & Adams, M. A. (2004). Evergreen trees do not maximize instantaneous photosynthesis. *Trends in plant science*, 9 (6), 270-274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.04.004>
- Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144 (3), 307-313. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)

Recebido em: 28/11/2018
Aceito em: 10/10/2019