

CESAR AUGUSTO AVELLANEDA BOHORQUEZ

ACÚMULO, PARTIÇÃO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL
EM *Jatropha curcas* L.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título *Magister Scientiae*

VIÇOSA
MINAS GERAIS- BRASIL
2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

A949a
2015 Avellaneda Bohorquez, César Augusto, 1982-
Acúmulo, partição e eficiência nutricional em *Jatropha
curcas* L. / César Augusto Avellaneda Bohorquez. – Viçosa,
MG, 2015.
iv, 50f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Luiz Antonio dos Santos Dias.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 37-47.

1. *Jatropha curcas* - Crescimento. 2. Plantas - Nutrição.
3. Plantas - Reguladores. 4. Biocombustíveis. 5. Óleos vegetais
como combustível. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.85

CESAR AUGUSTO AVELLANEDA BOHORQUEZ

ACÚMULO, PARTIÇÃO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL

EM *Jatropha curcas* L.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título *Magister Scientiae*

Aprovada em: 17 Julho de 2015

Prof. Dr. Júlio César Lima Neves
(Coorientador)

Prof. Dr. Fabio Santos Matos

Prof. Dr. Yonara Poltronieri Neves

Prof. Dr. Luiz Antônio dos Santos Dias
(Orientador)

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Taxonomia e características botânicas.....	4
2.2 Importância econômica.....	4
2.3 Nutrição mineral.....	6
2.4 Índices de eficiência nutricional.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Delineamento experimental e procedimentos estatísticos	14
3.2 Área de estudo e material vegetal.....	14
3.3 Teor e acúmulo de nutrientes.....	17
3.4 Eficiência nutricional.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1 Produção e partição de massa de matéria seca (MS).....	19
4.2 Teores e conteúdos dos macronutrientes nos compartimentos	22
4.3 Índices de eficiência nutricional.....	29
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS.....	37
7. APÊNDICES.....	48

RESUMO

AVELLANEDA-BOHÓRQUEZ, César Augusto, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Acúmulo, distribuição e eficiência nutricional de macronutrientes em *Jatropha curcas* L.** Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias. Coorientador: Júlio César Lima Neves.

O aquecimento global tem impulsionado as pesquisas por fontes energéticas limpas e renováveis. Os biocombustíveis líquidos, etanol e biodiesel, estão nessa categoria. A espécie oleaginosa mais promissora para biodiesel é *Jatropha curcas* L. Entretanto, as pesquisas em nutrição e adubação de *J. curcas* são ainda insuficientes no que diz respeito à distribuição de nutrientes na planta. O objetivo deste trabalho foi quantificar os teores e acúmulo dos macronutrientes nos compartimentos da planta e avaliar índices de eficiência nutricional em duas populações. O experimento de campo foi conduzido no Vale de Agronomia da UFV, de outubro de 2014 a fevereiro de 2015. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, sendo alocadas duas populações nas parcelas e compartimentos nas subparcelas, com 6 repetições. Foram considerados os compartimentos folhas, frutos (amarelos, verdes e secos discriminados em casca e semente), ramos e troncos de plantas com 6,5 anos de idade. Esses compartimentos foram amostrados 50 dias após a antese para estimar sua massa de matéria seca e teores de macronutrientes mediante análises químicas, a partir das quais foram calculados os acúmulos e a partição de nutrientes. Não houve efeito significativo de populações para teores de nutrientes, exceto para cálcio. Verificou-se efeito significativo dos compartimentos para teores de nutrientes. Para produção de massa de matéria seca e acúmulo de nutrientes foi encontrado efeito significativo só dos compartimentos, com maior acúmulo nos ramos e tronco. Os acúmulos de nutrientes nas folhas e frutos foram na seguinte ordem: N>K>Ca>Mg>P>S e K>N>Ca>P>Mg>S, respectivamente. Nos frutos, o K acumulou mais do que N. Para os índices de eficiência nutricional não houve efeito significativo das populações, mas compartimentos tiveram efeito, devido às relações entre teores e conteúdos com as variações da massa de matéria seca produzida pelos compartimentos. Dentre os macronutrientes os valores do coeficiente de utilização biológica e índice de utilização nutricional foram maiores para enxofre e fósforo nos compartimentos ramo e tronco, por tanto, foram os mais eficientes na produção de matéria seca.

ABSTRACT

AVELLANEDA-BOHÓRQUEZ, César Augusto, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Accumulation, distribution and nutrition efficiency in macronutrients *Jatropha curcas* L.** Adviser: Luiz Antônio Dos Santos Dias. Co-Adviser: Júlio César Lima Neves.

The Global Warming has driven to a research for suitable and renewable energetic sources as biofuels liquids like ethanol and biodiesel. One of the most promising oilseed species for biodiesel is *Jatropha curcas* L, however, research on nutrition and fertilization of *J. curcas* are still insufficient regarding to plant nutrients distribution. Thus, the objective of this study was to quantify the levels and accumulation of macronutrients in the plant compartments and to evaluate the nutritional efficiency ratios of two populations. The field experiment was conducted at the Agronomy Valley of UFV, from October 2014 to February 2015. The experimental design was completely randomized in split plots with two populations by plot and subplot compartments, for 6 repetitions. Compartments as magazine leaves, fruits (yellow, green and dry broken down into bark and seed), branches and trunks of with 6.5 years old plants were used. These compartments were sampled 50 days after the anthesis to estimate its dry matter mass and macronutrients by analyzing their chemical levels. Accumulation and nutrient partitioning were calculated. There were no significant effects of populations for nutrient contents, except for calcium. Besides, significant effects of compartments for nutrient contents were determined. Significant effects for dry matter mass production and nutrient accumulation were found only for magazines, with higher accumulation in the branches and trunk. The accumulation of nutrients in the leaves and fruits were in the following order: N> K> Ca> Mg> P> S and K> N> Ca> P> Mg> S, respectively. In fruits, the K accumulated more than N because of its greater availability in soil. For nutritional efficiency ratios the populations had no effect on them and contrary to compartments that had effects due to the relationship between levels and contents with dry matter mass variation produced by the compartments. For the macronutrients values biological utilization coefficient and nutritional utilization rate was higher for sulfur and phosphorus in the branches and trunks compartments, therefore, were the most efficient in the production of dry matter.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade a procura de novos recursos energéticos que ofereçam um desenvolvimento no sentido ambiental, social e econômico tem promovido o estudo de alternativas que permitam aproveitar o potencial energético da biomassa, que apresenta uma ampla gama de possibilidades com as espécies oleaginosas, com as quais é possível a obtenção de óleo vegetal para a produção de biocombustíveis com diversos usos. O conhecimento dos recursos bioenergéticos e sua utilização, deve focar a solução de problemas da humanidade como a facilidade no transporte, a produção de alimentos e a conservação do ambiente num esquema produtivo favorável para o desenvolvimento dos produtores. Neste sentido os biocombustíveis têm se destacado por se tratar de fonte de energia limpa e renovável. Biocombustíveis são todos os produtos capazes de gerar energia a partir de biomassa, tais como: carvão vegetal (madeira); álcool (açúcares – glicose, amido, celulose); biogás (biomassa em geral) e o biodiesel (óleo e gorduras) (Oliveira et al., 2008).

Estes biocombustíveis podem substituir parcial ou totalmente os combustíveis derivados do petróleo e gás natural (ANP, 2014). Trata-se de uma alternativa vantajosa, uma vez que, além de poluírem menos, os biocombustíveis apresentam processo de produção mais limpa (Oliveira *et al.*, 2008). Segundo a ANP (2014) em estudos do National Biodiesel Board (associação que representa a indústria de biodiesel nos Estados Unidos) a queima de biodiesel pode emitir em média 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado (que penetra nos pulmões) e 67% menos hidrocarbonetos.

As principais matérias-primas utilizadas para a produção do biodiesel no Brasil são soja, gordura animal e algodão com contribuições de 81%, 13% e 4% respectivamente, sendo os outros materiais responsáveis por apenas 2% dessa produção (ANP, 2014). É necessário, portanto, diversificar a produção de matéria-prima para produção de biodiesel, utilizando oleaginosas com potencial bioenergético, como *Jatropha curcas* L. conhecida como “Pinhão manso” (Heller et al., 1996; Dias et al., 2007; Jongschaap et al., 2007; Behera et al., 2010). O Brasil instituiu o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) com o intuito de inserir em sua matriz energética um novo produto que venha promover a sua independência energética, agregando valores sociais, econômicos e ambientais

(Gazzoni, 2009). Esse programa encontra-se ainda em fase de implantação e tem como principal diretriz a inclusão social. A expectativa é que ele garanta preços competitivos, qualidade e suprimento, além de produzir biodiesel a partir de diversas oleaginosas, em regiões diversas do país (Negrello e Zenti, 2007).

Dentre as plantas com potencial de utilização nos programas de agroenergia, *Jatropha curcas* L. mostra-se muito promissora. *J. curcas* apresenta sementes que encerram entre 25 e 32% de óleo (Pompelli *et al.*, 2010b), podendo render até 1,5 t ha⁻¹ de óleo ano em plantas de pelo menos 5 anos de idade (Openshaw, 2000; Tiwari *et al.*, 2007). A semente produz um óleo com excelentes características físico-químicas e boa proporção de ácidos graxos insaturados (Teixeira, 1987), os mais cobiçados para estes fins.

As alternativas bioenergéticas que o Brasil tem para selecionar materiais promissores na produção de biocombustíveis devem passar pelo estudo de suas vantagens em termos de potencial de produção, zoneamento agrícola, produtividade, balanço energético, uso potencial de subprodutos, utilização de mão-de-obra e, o mais relevante, o desenvolvimento de um sistema de produção adequado. Isso implica no estabelecimento de práticas de manejo da fertilidade do solo e da nutrição da espécie, permitindo viabilizar seu aproveitamento sob parâmetros técnicos e econômicos visando uma exploração racional que contribua com o desenvolvimento dos produtores. Os resultados das pesquisas que no Brasil vem sendo desenvolvidas ainda são incipientes na área da fertilidade do solo e nutrição da cultura, especificamente no que diz respeito a suas demandas nutricionais e recomendações de adubação que permitam elevar sua produtividade. Para avançar nesse aspecto, os fatores da produção devem atingir seus ótimos incluído o fator nutricional, em razão que a produtividade vegetal é um processo que envolve a interação solo, condições climáticas, manejo e a genética da planta. A nutrição das plantas está influenciada pela disponibilidade de nutrientes do solo, que a sua vez depende de diversas características e propriedades que definem a fertilidade, sendo que ela estabelece as condições para o suprimento, desenvolvimento radicular, rendimento e a qualidade do produto colhido (Epstein e Bloom, 2006), assim como as práticas de manejo que contribuíam a melhorar a fertilidade do solo através do ciclo produtivo.

Considerando os fatores de produção, a adubação é uma das principais técnicas que permitem o aumento da produtividade e rentabilidade da atividade agrícola. A adubação correta do solo leva ao aumento da produtividade das culturas, melhorando as limitações produtivas que geram condições favoráveis para a planta expressar seu potencial. Entretanto, para *J. curcas* ainda existem poucas informações sobre essa prática, o que limita o uso da análise de solo e da planta visando à interpretação dos resultados para recomendação segura de corretivos e fertilizantes. Estudos criteriosos e sistemáticos de aspectos nutricionais para essa cultura são fundamentais para se buscar maior produtividade e maior qualidade do óleo produzido (Santos, 2011).

Para atingir um manejo adequado da nutrição da espécie é preciso conhecer as demandas nutricionais e suas dinâmicas no tempo, razão pela qual a estimativa dos conteúdos de nutrientes numa determinada fase do ciclo fornece informação útil sobre as quantidades que devem ser adicionadas via adubação, sendo os conteúdos dos compartimentos da planta de importância para se estimar a proporção de nutrientes que os frutos demandam para uma determinada produção. Informações que devem ser aprimoradas posteriormente com estudos de calibração, visando determinar os níveis críticos dos nutrientes e definir as doses recomendáveis para atingir a máxima eficiência econômica. Portanto, o levantamento dessas informações permite uma aproximação às demandas nutricionais da planta tendo em conta que a quantidade de nutriente recomendada está determinada principalmente em função, da quantidade acumulada nos tecidos da planta.

Diante desta situação fica evidente a necessidade de gerar informações de base para o desenvolvimento e aprimoramento de metodologias de recomendação de adubação para a cultura. Motivo pelo qual o objetivo deste trabalho foi estimar os teores, acúmulo e partição de massa de matéria seca e nutrientes e, determinar a eficiência na utilização de nutrientes em populações de *J. curcas*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Taxonomia e características botânicas

Jatropha curcas L. é uma espécie perene e monóica, pertencente à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona (*Ricinus* sp.), mandioca (*Manihot* sp.) e seringueira (*Hevea* spp.). É um arbusto de crescimento rápido, que pode atingir 3 a 5 metros de altura. O tronco é dividido desde a base em compridos ramos (Dias et al., 2007). As folhas são verdes e brilhantes, largas e alternadas, em forma de palma, com três a cinco lóbulos e pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior. É uma planta caducifólia, sendo que suas folhas caem quando termina a estação chuvosa ou fria, entrando em repouso vegetativo, estágio que termina no começo da primavera ou da estação chuvosa. Uma vez termina o repouso vegetativo ocorre um rápido surgimento dos brotos foliares no ápice dos galhos do ano e simultaneamente surgem também as inflorescências (Matos, 2010).

O fruto é de tipo cápsula trilocular, com uma semente por lóculo, constituída por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, discente. No início o fruto é verde, passando de amarelo a castanho e chegando á cor preta, quando atinge o estágio de maturação. Esse processo dura aproximadamente dois meses. Os frutos têm, em média, de 2,5 a 4 cm de comprimento por 1,5 a 3,0 cm de diâmetro. A semente é ovalada, endospermica, tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. As sementes quando secas, apresentam cerca de 1,5 a 2,0 cm de largura (Peixoto, 1973). De suas sementes é extraído o óleo que serve como matéria prima a produção de biocombustível. O autor menciona que o fruto tem 53 a 62% de semente e 38 a 47% de casca. Outros afirmam que a porcentagem de casca está entre 16 a 30% (Brasil, 1985; Saturnino et al., 2005).

2.2. Importância econômica

Para Purcino & Drummond (1986), *J. curcas* é uma planta produtora de óleo com todas as qualidades necessárias para ser transformado em biodiesel e favorável ao uso da mão-de-obra familiar, sendo mais uma fonte de renda para o pequeno produtor, em especial da região Nordeste brasileira. Pode ser considerada uma

alternativa de complemento de renda para a agricultura familiar segundo (Martins et al., 2010). Além disso, a planta pode ser cultivada de forma perene apresentando relevante importância social e econômica (Silva et al., 2009). Esta espécie é capaz de se desenvolver em solos pobres e erodidos e pode ser utilizada na recuperação de áreas degradadas (Costa et al., 2007).

De acordo com informações da produção potencial, a planta produz, em média, 100, 500, 2000 e 4000 g/planta de sementes no primeiro, segundo, terceiro e quarto anos de cultivo, respectivamente (Tominaga et al., 2007), porém estudos tem demonstrado variação da produção em relação ao origem do material, condições ambientais e, sistema de produção. Em área experimental de *J. curcas* sob irrigação plantas de 18 meses produziram 2500 kg/ha de sementes (EPAMIG, 2006). Segundo Matos (2014) a máxima produtividade de sementes foi de 1483 kg/ha em árvores de três anos. Segundo Dias et al. (2007) as plantas produziram no primeiro ano 200 kg/ha e para o segundo ano próximo a de 1800 kg/ha. Drumond et al. (2009) reportou no segundo ciclo de produção em condições de irrigação para 10 genótipos uma média de 3570 kg/ha de sementes, variando de 3156 a 3914 kg/ha, o mesmo autor reportou produtividades de 320 kg/ha em condições de sequeiro e 1200 kg/ha com irrigação no primeiro ano de cultivo. Deus (2010) reportou em condições de irrigação uma produtividade de sementes no primeiro ano de 288,78 kg/ha e para o segundo ano de 1063,35 kg/ha. Dependendo do espaçamento, a produtividade pode passar dos 6.000 kg ha⁻¹ de sementes. Com essa produtividade, é possível produzir mais de 2.000 kg/ha de óleo. Segundo Teixeira (2005), *J. curcas* pode atingir produtividade média de 5 t/ha, sendo que, aproximadamente, 32% desse valor é convertido em óleo vegetal (1600 L/ha). No entanto, com o melhoramento genético e aprimoramento do sistema de produção, acredita-se que *J. curcas* possa produzir acima de 4.000 kg/ha de óleo.

O aumento da exploração comercial da *J. curcas* está relacionado com a alta qualidade do óleo e fácil conversão em biodiesel. Análises preliminares mostram que seu óleo tem cerca de 83,9% do poder calorífico do óleo diesel. Quando utilizado em veículos automotivos pode gerar a mesma potência com consumo cerca de 20% maior, o ruído mais suave e a emissão de fumaça semelhante (Furlan et al., 2006). Segundo Abdrabbo et al. (2009) o óleo possui cerca de 80% de ácidos graxos

insaturados, o que confere baixo ponto de solidificação do óleo (-10 °C), podendo este ser comercializado em diversos locais, inclusive regiões de clima sub-tropical. O óleo possui maior qualidade de ignição por ser menos viscoso que os óleos de dendê, babaçu e soja; no entanto, é muito mais viscoso que o diesel.

Para que ocorra a obtenção do óleo é necessário que a prensagem das sementes seja realizada. Um subproduto da prensagem é a torta, que após o processo de decomposição, origina uma matéria orgânica bastante rica em N, P, K, Ca e Mg, além de C orgânico. A torta é um excelente fertilizante (Samake,1996). Por exemplo, uma tonelada de torta pode conter aproximadamente 50 kg de N, 30 kg de P₂O₅, 30 kg de K₂O e 28 kg de CaOMgO (Arruda et al, 2004). Éguia (2006) menciona que a torta quando destoxificada pode ser usada como ração animal, à semelhança da torta de mamona, contendo 57% de proteína. A casca dos frutos pode ser usada como carvão vegetal e matéria-prima para papel.

2.3. Nutrição mineral

O pinhão manso apresenta moderada adaptação a solos com baixa disponibilidade hídrica e condições de baixa fertilidade natural dos solos. No entanto o aproveitamento rentável desta cultura deve procurar o conhecimento de sua nutrição que inclui determinar suas demandas, a fim de alcançar a competitividade do sistema produtivo através do manejo nutricional adequado (Laviola; Dias, 2008). A nutrição mineral do pinhão manso tem sido objeto de diversos estudos em diferentes condições edafoclimáticas tendo respostas contrastantes ou divergentes em relação a sua dinâmica nutricional.

A composição química das plantas varia de acordo com as condições físico-químicas do substrato (solo ou solução nutritiva) e com a espécie, sendo relatada diferença até entre variedades (Pinto, 2009). Pode haver diferença, ainda, entre as fases fenológicas da cultura, entre os órgãos e suas localizações na planta, e até em relação ao ataque de pragas e doenças (Raij, 1991; Prado et al., 2008). As diferenças existentes entre espécies e variedades na composição química das plantas ocorrem devido às potencialidades genéticas particulares de cada grupo de indivíduos, proporcionadas principalmente pelas diferenças na morfologia radicular

(comprimento, volume, raio, superfície e taxa de crescimento) e nos parâmetros cinéticos de absorção ($V_{\text{máx}}$, K_m e C_{min}) (Anghinoni et al., 1989; Pinto, 2009). A composição química dos tecidos pode também estar influenciada pelos estádios fenológicos, fato atribuído às demandas nutricionais que acontecem de maneira variável pela maior ou menor absorção e utilização de nutrientes em função dos processos metabólicos que ocorrem no crescimento vegetativo ou reprodutivo.

O nitrogênio é um elemento imprescindível para o crescimento, fazendo parte de moléculas como aminoácidos, proteínas, clorofilas e ácidos nucleicos (RNA e DNA), também contribui com o metabolismo do carbono pela função da Rubisco na assimilação de CO_2 que permite a fixação de carbono nos tecidos vegetais (Raij, 1991; Taiz & Zeiger, 2004, Matos et al., 2012). De acordo com Laviola e Dias (2007), *J. curcas* extrai, pela colheita de frutos, grande quantidade de nutrientes os quais devem ser incorporados via adubação para evitar a redução da fertilidade do solo ao longo dos anos de cultivo. Mencionam ainda que *J. curcas* apresenta alta taxa de crescimento, sendo o N o nutriente mais requerido para a formação de folhas e frutos.

O P pode ser limitante para a cultura sobre tudo em seu estágio inicial de crescimento razão pela qual é muito requerido (Laviola & Dias, 2008), devido às diversas funções fisiológicas e bioquímicas que desempenha na planta, fazendo parte da estrutura de várias moléculas chave no seu metabolismo energético, sendo componente das membranas (fosfolípidios), do RNA, DNA, ATP e ésteres de carboidratos, além de promover a formação de raízes e a maturação dos frutos, aumentar os teores de carboidratos, óleos, gorduras e proteínas e contribuir com fixação simbiótica do N, assim como à absorção e assimilação de nitrogênio (Malavolta et al., 1997). A deficiência de P, para maioria das plantas, provoca acúmulo de amido nos cloroplastos, e reduz o transporte de carboidratos e a atividade de todas as enzimas que dependem de fosforilação, em especial daquelas envolvidas na absorção ativa de nutrientes (Marschner, 1995).

Para aproveitar o potencial de produção de sementes da espécie, as plantas necessitam solos de boa fertilidade o que pode ser atingido mediante práticas de correção de deficiências nutricionais através da aplicação de corretivos e

fertilizantes. Por enquanto, para *J. curcas* não se tem um sistema de recomendação de adubação. Santos (2011) desenvolveu uma aproximação através da parametrização do sistema Ferticalc que leva em conta o balanço nutricional. Para obtenção do sistema de recomendação baseado no balanço nutricional, é necessária a determinação da composição química e do acúmulo de nutrientes pelas folhas e frutos, assim como a exportação de nutrientes do solo pela colheita dos frutos (Laviola e Dias, 2008). Nesse sentido, a análise dos tecidos possibilita quantificar os nutrientes e conhecer sua distribuição na planta toda (Barros et al., 1995). Tome Junior & Novais (2000) relatam que para um bom desenvolvimento desse sistema é necessário a obtenção de estimativas da demanda de nutrientes pelas plantas e informações referentes à eficiência de sua utilização para produção dos diferentes compartimentos como lenho, galhos e frutos.

Saturnino et al., (2005) afirmam que para atingir altas produtividades com a cultura de *J. curcas* é necessário que o solo seja adubado com N, P, Ca, Mg e S, mencionando que as pesquisas com adubação encontram-se em fase inicial. Na Tabela 1 consta a recomendação de adubação baseada na idade das plantas, aumentando-se o aporte de nutrientes até o 5º ano de cultivo segundo (Dias et al., 2007).

Tabela 1. Recomendação de adubação para cultura de *Jatropha curcas* L. em função da idade

Idade da planta (anos)	g planta ⁻¹	Formulado
0 a 1	120 a 150	20-0-15
1 a 2	160 a 200	20-10-15
3 a 4	300 a 375	20-10-15
4 a 5*	600 a 750	20-10-15

* A partir do 5º ano de cultivo, segue a recomendação de adubação para o 4º ano.

O trabalho de Silva et al. (2009) avaliaram o crescimento em solução nutritiva para caracterizar os sintomas de deficiências. Verificaram que a omissão de macro e micronutrientes provocou sintomas visuais de deficiências nutricionais similares em outras espécies. Também que ocorreu redução da produção de matéria seca total com omissão de N, P e K em 71%, 68% e 86% respectivamente, 120 dias após o transplante. E que tais reduções apesar de ser expressivas, foram menores que as

causadas pelas omissões de Ca e Mg, mostrando a importância da calagem para a cultura e recomendam o uso de calcários dolomíticos ou magnesianos frente a calcários calcíticos. Maia et al. (2011) trabalharam também com a omissão de macro e micronutrientes para avaliar o crescimento inicial de mudas em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico. Observaram que as omissões de N, P e K, nessa ordem, foram as que mais limitaram o crescimento manifestando suas respectivas deficiências, 70 dias após a semeadura. E coincidem como o trabalho de Silva et al., (2009) em que a resposta na ausência da calagem compromete o crescimento das plantas afetando a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, verificando sua importância na nutrição do pinhão manso.

No trabalho de Erasmo et al., (2009) em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, constataram acréscimos lineares para número de cachos por planta e para a produção de sementes após 395 dias do transplantio das mudas. Os maiores incrementos com relação ao tratamento controle foram obtidos com a dose de 58,2 mg dm⁻³ P sendo 89% e 175%, para número de cachos por planta e produção de sementes, respectivamente. Silva et al., (2009) em outro trabalho constataram que a dose de 43,7 mg dm⁻³ P resultou em maior número total de inflorescências, botões florais, flores, flores masculinas, flores femininas e frutos em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Souza et al., (2011) em casa de vegetação avaliaram o efeito da adubação NPK no crescimento e produção de matéria seca, 120 dias após o plantio em Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Os resultados mostraram que as doses de 55 mg dm⁻³ de P e 67 mg dm⁻³ de K apresentaram os maiores valores de matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes. O N não afetou o crescimento das plantas, mostrando que *J. curcas* tem uma baixa demanda incluso em solos com baixo conteúdo de matéria orgânica como no solo do experimento (12,8 g dm⁻³), mesmo assim a mineralização da matéria orgânica do solo forneceu o N necessário para crescimento das plantas, ou que o N foi fornecido por uma associação simbiótica com microrganismos fixadores de N₂.

Avaliando a produção de matéria seca em casa de vegetação e utilizando solo Franco Arenoso submetido a doses de P, Nobrega et al. (2009) verificaram que a dose de 34,1 mg dm⁻³ resultou na máxima produção de matéria seca da parte aérea e com a dose de 29,0 mg dm⁻³ a máxima de matéria seca de raízes, após 150 dias da

emergência das plantas. Tomaz et al. (2009) também trabalhando com mudas em casa de vegetação testaram doses de P, onde não houve efeito da adubação fosfatada na maioria das variáveis estudadas, mas com a dose de 70,0 mg dm⁻³ constataram maior diâmetro de colo e com a dose de 52,5 mg dm⁻³ os maiores incrementos em área foliar e matéria seca de caule, aos três meses. Evangelista et al., (2009) trabalhando com adubação potássica não encontraram efeito na produtividade de sementes em um Latossolo Vermelho distroférico; possivelmente a resposta foi devido ao razoável teor de K (101 mg dm⁻³) presente no solo.

Trabalhos em plantas adultas com idades superiores aos três anos tem sido realizados, como o conduzido por Silva (2013) num experimento para avaliar os teores e acúmulo de nutrientes nas folhas e nos frutos de diferentes populações, fases fenológicas e estratos na copa das plantas. Mostrando que os teores e acúmulos de todos os nutrientes determinados nas folhas e frutos variaram com a fase fenológica. A localização das folhas influenciou nos teores de N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu, e dos frutos os teores de N, Ca e Cu. Os estratos influenciaram nos acúmulos foliares de todos os nutrientes avaliados, enquanto nos frutos, somente os acúmulos de N e Ca foram influenciados. Lima et al. (2014) avaliaram o acúmulo de nutrientes no crescimento de frutos e a exportação de nutrientes devido à colheita de sementes e remoção das cascas. O N é o nutriente acumulado em maior quantidade, seguido pelo K, Ca, P, Mg e S. A variação sazonal dos teores foliares de nutrientes visando determinar a época mais adequada para realização da análise foliar foi avaliada. Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn apresentaram grande variação entre os períodos de descanso fisiológico, florescimento e intenso enchimento de frutos, mas a variação foi menor no início do descanso fisiológico e que a época mais adequada para avaliar o estado nutricional é no final do período reprodutivo, nos 30 dias que antecedem a queda das folhas.

A dinâmica de nutrientes em espécies perenes varia pelos fatores idade da planta, do ramo e da folha que é definido pelo estágio fenológico, assim como a posição da folha na copa do arvore e o tipo de ramo, também das condições edafoclimáticas e o manejo da cultura. Lima et al., (2011) encontraram que os teores dos nutrientes variaram significativamente respeito a posição da folha no ramo e, que o estágio fenológico do ramo influenciou os teores de N, P, Ca, S e Zn nas folhas, só

para o caso de Cu e Fe houve interação entre os fatores posição da folha e estágio fenológico do ramo. Outro fator que influencia esta dinâmica é a translocação de nutrientes entre os diferentes órgãos da planta que conduz ao aumento ou diminuição nos teores, em função da relação funcional dos tecidos e sua idade fisiológica. De acordo com George et al. (1989), durante o ciclo, ocorre aumento de alguns elementos como diminuição de outros, devido à translocação de nutrientes de órgãos senescentes para aqueles em crescimento. Os teores e conteúdos de nutrientes nos órgãos da planta, principalmente em folhas e frutos, são informações imprescindíveis que devem ser obtidas para se conhecer os requerimentos nutricionais de uma planta. Informações que serão utilizadas para estimar as quantidades dos nutrientes a ser fornecidas às plantas por meio da adubação (Laviola e Dias, 2008). Os requerimentos nutricionais das culturas dependem principalmente das quantidades extraídas e exportadas pelas colheitas, assim como da dinâmica de absorção dos nutrientes durante o ciclo das plantas (Mesquita et al., 2010).

2.4. Índices de eficiência nutricional

Mesmo que cultivares de uma mesma espécie apresentem capacidades similares na absorção ou no acúmulo de determinado nutriente, pode ocorrer grande diferença entre elas na produção de biomassa, resultante de diferenças na eficiência nutricional (Eberhardt, 1999). A eficiência nutricional ocorre por várias razões, entre elas a absorção, o transporte e a utilização dos nutrientes pela planta (Marschner, 1995). Do ponto de vista nutricional, um genótipo eficiente é aquele que cresce e produz em condições de baixo suprimento de nutrientes pelo solo e assim, comparativamente a outras cultivares, tem maior capacidade de absorver os nutrientes necessários e utilizá-los na produção de biomassa (Furlani et al., 1984). Com base na capacidade de produzir matéria seca por unidade de nutriente, as plantas podem ser chamadas de “eficientes” ou “ineficientes” nutricionalmente (Vose, 1987). A eficiência no uso dos nutrientes foi definida por Ferres et al. (1984) como a produção ou fixação de carbono por unidade de nutriente absorvido ou disponível. Em plantas de ciclo curto a produção por unidade de nutriente absorvido é simplesmente o inverso da concentração do nutriente nos tecidos da planta. Porém, em plantas perenes, parte dos requerimentos anuais de nutrientes procedem da

reabsorção desde os tecidos senescentes, os quais permitem usar a mesma unidade de nutriente para produzir órgãos vegetativos (Vitousek, 1982).

Segundo Baligar et al. (2001) a avaliação da eficiência nutricional é útil para separar espécies, genótipos e cultivares por sua capacidade de absorver e utilizar os nutrientes que produzam os maiores rendimentos. Sendo que a eficiência de uso nutricional baseia-se em: a) eficiência de absorção que depende da aquisição de nutrientes desde o solo, a taxa de influxo nas raízes, a cinética de influxo e ao transporte radial nas raízes, relacionados com parâmetros de peso ou comprimento de raiz, já a absorção está relacionada com as quantidades do nutriente específico aplicado ou presente no solo); b) eficiência de incorporação (transporte para parte aérea e folhas); e c) eficiência de utilização (com base na remobilização na planta inteira). As plantas podem desenvolver mecanismos que mantem seu metabolismo em condições adversas, o que garante sua sobrevivência no cambiante ambiente para se ajustar à disponibilidade de nutrientes e água. A retranslocação de nutrientes é um deles, e pode-se entender como uma forma de conservação de nutrientes, deste modo a planta consegue dar continuidade às atividades metabólicas, principalmente em períodos sujeitos ao estresse nutricional (Leitão e Silva, 2004).

A utilização de índices para avaliar a eficiência com que a planta absorve, transloca e aloca os nutrientes contribui para o conhecimento das diferenças entre genótipos quanto a sua habilidade para fixar carbono e disponibilizar nutrientes em órgãos como as folhas que permitem o crescimento. Por sua vez, os índices podem evidenciar a proporção de nutrientes alocados nos tecidos da planta, permitindo estabelecer relações entre a produção de matéria seca e o conteúdo de nutrientes, dando ideia da forma como o genótipo usa os nutrientes na produção de biomassa, o que estabelece seu nível de eficiência nutricional. Genótipos com baixos conteúdos de nutrientes em determinada biomassa podem ser considerados eficientes quando comparados a outros que apresentando a mesma biomassa apresentam maiores conteúdos. Para o caso de P, Gerloff & Gabelman (1983) trabalhando com trigo mencionam que as variedades podem distinguir-se quanto à eficiência de utilização (matéria seca produzida/teor de P no tecido). E que a maior eficiência de utilização pode ser devida à menor quantidade de P para a maquinaria metabólica da planta, à

maior redistribuição do nutriente para os pontos de crescimento e à maior proporção de fósforo mobilizado desde os vacúolos das células em condição de deficiência.

A eficiência nutricional pode ser calculada pelo coeficiente de utilização biológico (CUB), que consiste na razão entre a massa de matéria seca (MS) e o acúmulo de nutrientes (AN). Alternativamente, pode ser reescrito como o inverso do teor, ou seja: $CUB = MS/AN$, em que $AN = Teor * MS$, logo $CUB = 1/Teor$. Entretanto, segundo Siddiqi e Glass (1981), a relação de eficiência nutricional deve sempre estar relacionada com a produção, para não incorrer em erro de selecionar cultivares com alta relação de eficiência nutricional e baixa produção. Para tanto, Siddiqi e Glass (1981) sugerem o índice de eficiência nutricional (EN) = $MS/Teor$, em que MS é a massa de matéria seca da planta e teor é a concentração do nutriente na planta. Por outro lado, a seleção de cultivares com elevada eficiência nutricional poder ser conduzida, considerando-se simultaneamente o índice CUB e a produção de matéria seca.

Valarini et al (2005) mencionaram que nutrientes como N, P e K de alta mobilidade no floema, apresentam menores teores na medida que aumenta a idade das folhas. O Ca e B apresentam uma dinâmica oposta em relação aos demais nutrientes, que geralmente diminuem sua concentração na planta em relação ao aumento de idade do órgão, portanto, o aumento dos teores de Ca em folhas velhas pode ser ocasionado principalmente pelo aumento na produção de paredes celulares, lignina e compostos de armazenamento, como também por sua baixa mobilidade no floema (Marschner, 2002).

A remobilização pode ser considerada um mecanismo para responder a condições limitantes no suprimento dos nutrientes (baixa disponibilidade ou déficit hídrico), nas quais as folhas maduras translocam nutrientes para as áreas de crescimento permitindo a conclusão do ciclo de vida da planta. Entretanto, a magnitude em que ocorre a remobilização difere entre nutrientes sendo refletido na localização dos sintomas visuais de deficiência nutricional (Marschner, 2002). Sintomas de deficiência nas folhas mais velhas refletem altas taxas de redistribuição do nutriente, enquanto que nas folhas mais novas e meristemas apicais, refletem redistribuição insuficiente (Epstein & Bloom, 2006).

3. MATERIAL E METODOS

3.1. Delineamento experimental e procedimentos estatísticos

O experimento foi conduzido com base no delineamento experimental inteiramente ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas com 6 repetições, alocando-se as populações nas parcelas e os compartimentos da planta nas subparcelas. Cada parcela experimental foi constituída por 1 árvore. Os dados coletados foram inicialmente submetidos a teste de normalidade e de homocedasticidade de variância. A seguir foram processadas análises de variância. As diferenças entre as médias processadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Na segunda fase das análises, foram processados os dados médios das duas populações em delineamento inteiramente casualizado. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa SAS.

3.2. Área de estudo e material vegetal

O experimento foi realizado com plantas de *Jatropha curcas* L. de 6,5 anos de campo, de outubro de 2014 a fevereiro de 2015. As plantas foram clones de populações silvestres oriundas de municípios mineiros, dispostos em blocos ao acaso, no espaçamento 2,5 x 2,5 m, no Campus Experimental “Diogo Alves de Mello”, Viçosa (latitude 20° 45’ 58” S, longitude 42° 52’ 06” W e altitude 676 m), pertencente à Universidade Federal de Viçosa, MG. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 1999). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa, quente e úmido, caracterizado por inverno seco e frio com temperaturas mínimas inferiores a 10 °C. A temperatura média durante o período experimental variou de 16,5 a 34,8 °C, e a precipitação pluviual acumulada foi de 452,2 mm (Figura 1).

A área de estudo concentrou-se aproximadamente em 400 m², sendo escolhidas plantas dos acessos denominados Janaúba (J1) e Bonfim (B1) que mostraram diferenças da sua variabilidade genética para acúmulos foliares de N, P, S e Zn segundo o estudo de Silva (2013). O estudo foi conduzido em sistema de sequeiro e livres de competição com plantas daninhas, sendo feita capina mecânica. Todas as plantas foram adubadas cada ano como sugerido por Dias et al., (2007). O controle

de pragas foi feito com inseticida (Deltametrina). O controle de doenças não foi necessário no período do acompanhamento do estudo.

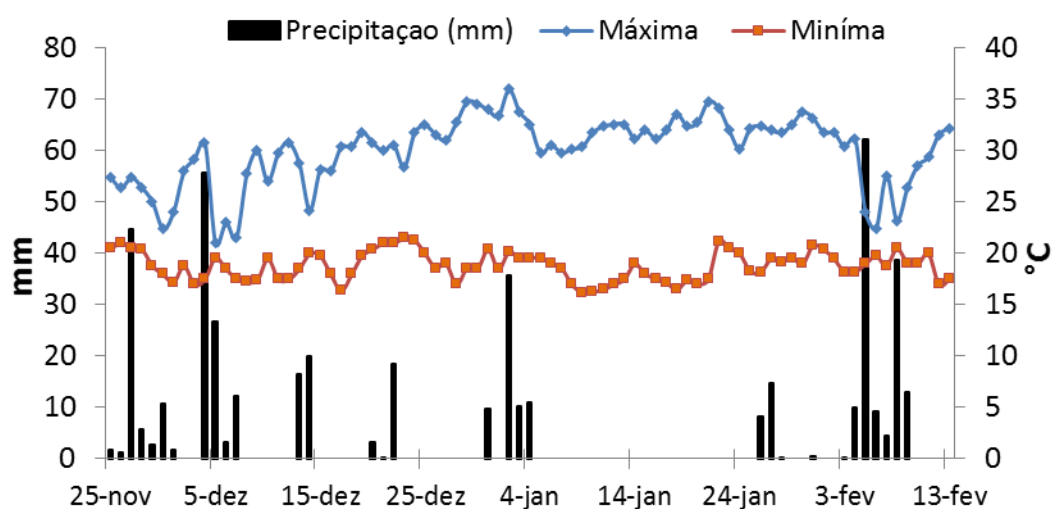


Figura 1. Dados de precipitação (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C), durante o período experimental.

Na área experimental foram coletadas 20 amostras simples de solo em três camadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm) para formar uma amostra composta por camada. Essa amostragem foi feita em duas faixas da área experimental e sobre a área de projeção da copa das plantas, com caminhamento em zigue zague. As amostras foram secas ao ar (TFSA) e passadas em peneira de 2 mm. Na TFSA foi realizada análise química, determinando-se pH em água, teores de P, K, Zn, Cu, Fe, Ca, Mn, acidez trocável, acidez potencial, C orgânico, B, P-remanescente e S (Figura 2). O carbono orgânico das amostras de solo foi determinado pelo método de Walkley-Black. Os cátions Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl (1 mol L⁻¹), K, P, Zn, Cu, Fe, Mn, com o extrator Mehlich-1 e H+Al³⁺ com solução de acetato de cálcio (1 mol L⁻¹), tamponada com ácido acético a pH 7,0, conforme recomendado por Embrapa (1997). Da mesma forma foi realizada análise granulométrica das amostras compostas, por camada (Tabela 3).

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental

Características químicas	Camada (cm)		
	0-20	20-40	40-60
pH	4,76	4,99	4,68
MO (dag/kg)	2,79	2,15	1,39
P (mg/dm ³)	2,2	1,5	0,9
K (mg/dm ³)	53	47	19
Ca (cmol _c /dm ³)	1,13	1,18	0,75
Mg (cmol _c /dm ³)	0,43	0,44	0,33
Al (cmol _c /dm ³)	0,88	0,2	0,2
H+Al (cmol _c /dm ³)	5,3	4,5	3,7
t (cmol _c /dm ³)	2,58	1,94	1,33
T (cmol _c /dm ³)	7,00	6,24	4,83
V (%)	24,3	27,9	23,4
m (%)	34,1	10,3	15,0
B (mg/dm ³)	0,62	0,42	0,31
Fe (mg/dm ³)	110,9	138,6	107,4
Mn (mg/dm ³)	18,5	21,0	18,4
Zn (mg/dm ³)	2,14	31,92	26,09
P rem (mg/L)	15,8	14,5	13,1

pH em água, relação 1:2,5. P, K, Fe Mn, Zn: extrator Mehlich-1. Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹. H+AL: extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0. t: capacidade de troca catiônica efetiva. T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0.V: Índice de saturação por bases. m: Índice de saturação por alumínio. B: água quente. P-rem: fósforo remanescente. MO (matéria orgânica): C. org. x 1,724 (Walkley-Black).

Todas as árvores da área experimental foram adubadas conforme as recomendações adotadas por Dias et al, (2007) e subsidiadas pelo Ferticalc Pinhão manso desenvolvido por Santos (2011), para ajustar as doses aos requerimentos da cultura dentro do conceito de balanço nutricional.

Os adubos aplicados foram NPK no formulado 20-5-20 e superfosfato simples, em doses de 540 e 400 g/planta, respectivamente no mês de novembro. A adubação foi na projeção da copa em dose única devido ao curto período de chuvas que houve na área experimental. A Necessidade de Calagem (NC) foi determinada pelo método de saturação por bases para a correção da acidez do solo, como sugerido por Dias et al., (2007), visando elevar os níveis de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo. Para aproximar pH entre 5,6 a 6,7, a dose calculada foi de 1,65 t ha⁻¹ sendo aplicado 1100 g/planta, utilizando-se calcário dolomítico de composição (30% CaO, 10% MgO) e poder relativo de neutralização total de 76%.

Tabela 3. Caracterização granulométrica do solo da área experimental

Camada (cm)	Areia grossa	Areia fina dag/kg	Silte	Argila	Classe textural
0-20	13	19	7	61	Muito argilosa
20-40	11	16	9	64	Muito argilosa
40-60	10	16	7	67	Muito argilosa

Para a amostragem dos tecidos da parte aérea foram definidos os compartimentos caule, ramos, folhas e frutos que foram discriminados em verde, amarelo e seco, sendo separados em casca e semente. A amostragem foi feita uma única vez, 50 dias depois da antese no mês de fevereiro. Seguidamente as árvores foram derrubadas e os compartimentos foram separados e pesados para determinar a massa de matéria fresca (MF), posteriormente, foram tiradas subamostras de cada compartimento para determinação de massa de matéria seca (MS). Essas subamostras foram utilizadas nas análises de teores de macronutrientes, lavadas com água deionizada, secas em estufa de circulação de ar a 70 °C até peso constante, moídas em moinho tipo Willey e armazenadas em sacolas de papel. Da mesma forma foram amostrados 50 discos das folhas do estrato médio com ajuda do trado para estimar a área foliar específica visando calcular a área foliar.

Para as análises a MS moída dos compartimentos foi mineralizada por digestão nítrico-perclórica (Tedesco et al. 1985) e nos extratos foram determinados: P por colorimetria pelo método da vitamina C (Braga e Defelipo, 1974), K por fotometria de emissão de chama; S por turbidimetria; e Ca, Mg por espectrofotometria de absorção atômica. Para determinação dos teores de N total os tecidos vegetais foram submetidos à digestão sulfúrica pelo método de Kjeldahl (Malavolta et al., 1997).

3.3. Teor e acúmulo de nutrientes

Para estimar o conteúdo de nutrientes foi calculada a MS contida em cada compartimento. Os conteúdos foram estimados como o produto da MS de cada compartimento pelo seu correspondente teor do nutriente, determinado através das análises químicas. Os acúmulos foram estimados por compartimento como o produto

da MS total pelo número de árvores por hectare e expresso em kg ha⁻¹. A amostragem foi feita na fase reprodutiva de modo a conseguir determinar o acúmulo e distribuição nos compartimentos, incluídos os frutos.

3.4. Eficiência nutricional

Uma das maneiras mais utilizadas para estudar a eficiência das plantas no uso de nutrientes é o cálculo da relação entre a produção de matéria seca da planta toda e o conteúdo do nutriente na matéria seca, denominado de eficiência de utilização (Swiader et al., 1994). No presente trabalho as magnitudes referentes á planta toda correspondem à parte aérea da planta.

Para abordar a eficiência nutricional foram avaliados os seguintes índices que relacionam os teores e conteúdos com a produção de MS:

- a. Coeficiente de utilização biológica (CUB)

$$\text{CUB} = \frac{\text{Massa de matéria seca do compartimento}}{\text{Conteúdo do nutriente no compartimento}} \quad \begin{array}{l} \text{em kg/kg} \\ \text{Barros et al (1896)} \end{array}$$

- b. Índice de eficiência de utilização nutricional por compartimento (EUN):

$$\text{EUN} = \frac{(\text{Massa de matéria seca do compartimento})^2}{\text{Conteúdo do nutriente no compartimento}} \quad \begin{array}{l} \text{em kg}^2/\text{kg} \\ \text{Siddiqui \& Glass (1981)} \end{array}$$

- c. Índice de eficiência de utilização integralizado (EUI):

$$\text{EUI} = \frac{\text{Massa de matéria seca do compartimento}}{\text{Conteúdo do nutriente na planta}} \quad \begin{array}{l} \text{em kg/kg} \\ \text{Adaptado de Neves (2000)} \end{array}$$

- d. Índice de eficiência de translocação para o fruto (ETF):

$$\text{ETF} = \frac{\text{Conteúdo do nutriente no fruto}}{\text{Conteúdo do nutriente na planta}} \quad \begin{array}{l} \text{em kg/kg} \\ \text{Adaptado de Neves (2000)} \end{array}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção e partição de massa de matéria seca (MS)

As análises de variância para produção de MS não mostraram diferenças significativas entre populações ($F=0,258$; $p= 0,622$). As diferenças ocorreram para compartimentos (Tabela 4). A produção de MS total foi de $33,4 \text{ t ha}^{-1}$. A produção da biomassa (MS) total da parte aérea da *J. curcas* irrigado, em plantas de 4 anos reportada por Santos (2011) foi de $52,5 \text{ t ha}^{-1}$, e de $15,0 \text{ t ha}^{-1}$ no trabalho de Drummond (2010), em que foram avaliados 10 genótipos com 2 anos sob irrigação. Os valores encontrados diferem dos resultados nesses trabalhos, devido às diferenças de idades, condições edafoclimáticas e de produção (disponibilidade de água e densidade populacional) que influenciam diretamente a produção de MS.

Tabela 4. Produção e partição média de massa de matéria seca (MS) em *Jatropha curcas* L.

Compartimento	MS (kg ha^{-1})	Partição (%)
Ramo	26314,0 a	78,71
Tronco	3713,0 b	11,10
Folha	2793,0 cb	8,36
Fruto Verde	257,0 c	0,77
Fruto Amarelo	254,0 c	0,76
Fruto Seco	101,0 c	0,30
Total	33431,0	100,00
Média	5571,5	
CV (%)	32,6	

Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A partição de MS mostrou que existe maior quantidade nos ramos e tronco. O compartimento com maior MS foi o ramo (78,7%). Essa distribuição foi próxima à de Torres et al. (2010) quem encontrou 71,4% no terceiro ano. A maior proporção de MS produzida em ramos e troncos está relacionada com sua função estrutural, levando a maior acúmulo de celulose, hemicelulose e lignina nas paredes celulares do tronco (Taiz e Zeiger, 2004).

As folhas aparecem como terceiro compartimento na partição de MS, as quais tem uma importante função na fixação de carbono e, portanto na produção de biomassa. A MS total não apresentou diferenças significativas entre as populações, apesar da área foliar estimada ter sido maior para B1 com 24,78 m² comparada com J1 que registrou 22,25m², indicando que a maior área foliar de B1 não contribuiu com acréscimos na produção de MS total. A área foliar é um parâmetro fisiológico que permite estimar a resposta das plantas a diferentes estímulos tanto bióticos como abióticos e é estreitamente relacionada com a interceptação de luz, capacidade fotossintética, acúmulo de matéria seca, metabolismo, crescimento e rendimento (Awal et al., 2004; Severino et al., 2004). Foi calculada a área foliar específica, com valores de 13,18 m²/kg e 13,78 m²/kg para J1 e B1, respectivamente, indicando que a espessura das folhas foram bem similares, segundo Ayala (2000) este parâmetro se relaciona com a densidade das folhas, quanto menor a área foliar específica há uma maior densidade delas e pode-se supor uma maior quantidade de fotoassimilados. Portanto, poderia se afirmar que este parâmetro dá uma ideia geral da capacidade potencial de produção de fotoassimilados, e pode-se sugerir que a taxa do processo fotossintético é menor para a população B1, pois tendo a mesma área foliar específica a produção de MS foi menor em relação a J1.

Quanto à produção de MS nos frutos, os valores encontrados de 2,70 e 2,24 g/fruto nos estádios amarelo e seco, respectivamente (Tabela 5), coincidem com os de Silva (2013), de 2,46 e 2,17 g/fruto nos mesmos estádios; também relata que avaliando as mesmas populações J1 e B1 não foram encontradas diferenças significativas, portanto as populações apresentam uma reduzida variabilidade genética em quanto a esse caráter. Gusmão (2010) avaliando plantas de dois anos e utilizando como tratamentos três relações de NPK e cinco doses de um formulado, encontrou efeito significativo das doses sobre peso de frutos e peso de casca, havendo diferença na menor dose para peso de frutos e na maior dose para peso da casca. Esses resultados mostraram que a MS alocada nos frutos muda somente em doses extremas e a adubação tem reduzida influência sobre os incrementos de MS dos frutos. O autor relata que incrementos de 1% na dose proporcionou acréscimo de 0,0004 g no peso da semente (0,7385 g) o que representa um ganho só de 0,054%, podendo-se inferir que a produção de MS nos frutos é uma característica afetada por outros fatores como a genética ou a disponibilidade de nutrientes no solo em função de suas características, como foi demonstrado por Sousa (2009) quem relata que o tipo

de solo tem influencia sobre a produção de pinhão manso, encontrando que a produção de sementes com tratamentos NPK diminui-o em uma localidade e aumento na outra.

A produção de MS e respectiva partição nos frutos são apresentadas como a média das populações (Tabela 5), mostrando que suas proporções mudam entre casca e sementes a medida que o fruto vai amadurecendo, de modo que a MS no fruto vai se alocando em maior proporção na semente, no entanto o peso total do fruto verde e amarelo são bem similares indicando que possivelmente existiu translocação de MS da casca para a semente próxima a 4%.

Tabela 5. Produção e partição média de MS nos frutos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Estadio	Peso total (g/fruto)	% Casca	% Semente
Verde	2,73	38,23	61,77
Amarelo	2,70	34,21	65,79
Seco	2,24	25,67	74,33
Media	2,56	32,70	67,30
CV (%)	16,00	16,68	8,24

Quanto à produção de sementes não foi verificado efeito significativo das populações ($F= 0.258$; $p= 0.622$), tendo valores similares de 400,38 e 403,31 kg/ha para J1 e B1, respectivamente. A produtividade de sementes para as populações esteve abaixo do considerado ideal segundo Laviola e Dias (2008) que mencionam produção esperada de 4000 g/planta no quarto ano o que contrasta com os 250 g/planta em média encontrada no presente trabalho. Esta baixa produção pode-se atribuir às condições climáticas da zona no período experimental com predomínio de tempo seco (altas temperaturas e reduzidas precipitações) que possivelmente afetaram a absorção dos nutrientes aplicados via adubação, assim como ao inicio tardio da brotação foliar que foi registrada próximo a três semanas depois (final de outubro) do definido por (Laviola, 2009). Existe uma dificuldade na hora de fazer comparações com os reportes da literatura das produções obtidas neste trabalho, pois os trabalhos encontrados fazem referências a produções de 2139 kg/ha com idade de 30 meses e 1843 kg/ha com três anos (Silva et al. 2009; Matos et al. 2014)

respectivamente. Além disso, o sistema de sequeiro limita a disponibilidade hídrica as precipitações; segundo os resultados de Oliveira et al. (2012), a produtividade de sementes das plantas irrigadas foi em média 69% maior quando comparada com as plantas que não receberam irrigação. Também se verificou a ocorrência de um só pico de colheita entre janeiro e fevereiro. Dias et al. (2007) mencionam que sob condições climáticas de Minas Gerais a floração ocorre após o período de seca. Em consequência, o pico da colheita dos frutos ocorre de fevereiro a abril, ou, até julho, quando o período de chuvas é mais prolongado.

4.2. Teores e conteúdos dos macronutrientes nos compartimentos

Os teores de macronutrientes nos compartimentos de *J. curcas* são mostrados na Tabela 6. Houve efeito dos compartimentos sobre os teores dos nutrientes ($F= 251,2$; $p= 0,0001$), assim mesmo foi verificado efeito da interação das populações sobre os compartimentos apenas para teor de cálcio. O desdobramento da interação indicou que as populações apresentam efeito sobre os compartimentos semente verde e amarela, unicamente.

Tabela 6. Teores médios de nutrientes nos compartimentos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S
	dag kg ⁻¹					
Folha	3,08 a	0,14 b	1,63 d	1,33	0,64 c	0,12 b
Semente Amarela	2,82 ab	1,17 a	3,11 b	2,61	1,54 b	0,37 a
Semente Verde	2,72 b	1,19 a	3,15 b	2,79	1,73 a	0,29 a
Semente Seca	2,67 b	1,22 a	3,86 a	2,33	1,52 b	0,29 a
Casca Seca	0,94 c	0,07 b	2,93 bc	0,32	0,30 d	0,09 b
Casca Verde	0,89 c	0,08 b	2,57 c	0,22	0,30 d	0,08 b
Ramo	0,82 c	0,06 b	0,68 e	0,40	0,10 e	0,03 b
Casca Amarela	0,69 cd	0,04 b	2,85 bc	0,22	0,31 d	0,07 b
Tronco	0,46 d	0,05 b	0,71 e	0,77	0,12 e	0,02 b
Media	1,68	0,45	2,39	1,22	0,73	0,15
CV (%)	14,3	23,4	15,0	17,0	15,3	74,7

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os nutrientes que apresentaram maiores teores foram o N, K, Ca, Mg, encontrados em sementes e folhas, sendo tecidos com maiores demandas para processos metabólicos, o que pode ser evidenciado comparando esses nutrientes no tronco e ramos. As folhas são consideradas centro das atividades metabólicas da planta, por essa razão tendem a apresentar os maiores teores de nutrientes em função dos processos de transpiração e fotossíntese (Kozlowski & Pallardy, 1996).

Os teores de nutrientes nos frutos foram encontrados no seguinte ordem: K>N>Ca>Mg>P>S e nas folhas N>K>Ca>Mg>P>S. Segundo Laviola e Dias, (2008) o ordem foi: N>K>Ca>P>Mg>S e N>Ca>K>Mg>P>S nos frutos e folhas, respectivamente, diferindo só K por N nos frutos e K por Ca nas folhas. Pode-se observar a alta demanda metabólica de N e K, sendo o N essencial para assimilação de carbono e formação de novos órgãos na planta (Taiz & Zeiger, 2004). Malavolta et al. (1997) menciona que o teor de K pode exceder o de N no metabolismo das plantas, por intervir no controle de turgidez dos tecidos, síntese de carboidratos e proteínas, respiração e regulação da abertura e fechamento dos estômatos.

Os teores de nutrientes encontrados nas folhas foram similares aos reportados por Laviola e Dias (2008), exceto para o P sendo 0,14 dag kg⁻¹, e que segundo Lima (2011) deve estar na faixa de 0,28 a 0,30 dag kg⁻¹. O baixo teor encontrado pode se atribuir ao alto teor de argila (61 dag kg⁻¹), fração que esta associada ao fenômeno de fixação de P afetando a disponibilidade para a planta; e pelo baixo teor no solo (2,2 mg dm⁻¹) sendo características típicas de Latossolos, que conduziram a uma recuperação reduzida do adubo aplicado pela planta. Fosforo é um nutriente rapidamente fixado pela fração argila, constituída, principalmente, por óxidos de Fe e Al, (Novais & Smyth, 1999).

O teor de P nas folhas esteve abaixo da faixa crítica, este fato pode estar associado com sua função de fornecer energia nos processos metabólicos de crescimento do grão. Nesse sentido, Marschner (2002) relata que o P tem alta capacidade para se redistribuir em órgãos de armazenamento, e produzir ácidos graxos em sementes durante a fase de enchimento de grão e maturação do fruto. Essa situação pode ter ocorrido pelos maiores teores de P encontrados nas sementes (1,17 dag kg⁻¹) comparados com os encontrados por (Santos, 2011; Laviola e Dias, 2008) de 0,56 e 0,41 dag kg⁻¹ respectivamente, e como consequência de sua capacidade de redistribuição na planta. A capacidade de redistribuição de P foi verificada por Lima

(2011) que relata que as folhas em crescimento possuem alto teor ($0,32 \text{ dag kg}^{-1}$), sendo reduzido à medida que atingem os estádios fenológicos jovem, madura e senescente. A redução no teor foliar no estágio de maturação do fruto foi reportado por Lima (2014), sendo de $0,15$ a $0,19 \text{ dag kg}^{-1}$, próximo ao encontrado de $0,14 \text{ dag kg}^{-1}$.

O teor foliar de N apresentou o maior valor dentre os macronutrientes, o que se pode relacionar com sua participação nos processos de crescimento da planta tanto vegetativos como reprodutivos. Uma vez que atingida sua maturação fisiológica as folhas tornam-se exportadoras de nutrientes móveis como o N sempre que não existam limitações no suprimento pelo solo. O valor de $3,08 \text{ dag kg}^{-1}$ foi similar ao reportado por Laviola e Dias (2008) de $3,14 \text{ dag kg}^{-1}$, se considerando adequado em relação aos reportados por Lima (2014) em folhas provenientes de ramos produtivos e vegetativos com valores variando de $4,16$ e $1,82 \text{ dag kg}^{-1}$ em diferentes épocas do ano; sendo os maiores teores de N para o estágio de intensa floração e produção de frutos ($4,16 \text{ dag kg}^{-1}$) e os menores para o estágio de maturação do fruto com $2,17 \text{ dag kg}^{-1}$. Portanto, os teores de N nas folhas se reduzem em função do desenvolvimento do fruto. O teor no presente trabalho possivelmente está relacionado com a adubação realizada, que aumentou sua disponibilidade para os frutos reduzindo a demanda de N das folhas para os frutos, em razão dos grãos serem os principais drenos do N das folhas Del Molino (1992).

Na Tabela 6 os teores de nutrientes nos frutos são apresentados em casca e semente, destacando-se o K que teve os teores mais altos, sendo maior na semente. Isso indica que K é um nutriente de importância no crescimento do fruto por quanto nos estádios de maturidade encontrados seus teores foram os mais altos respeitos aos demais nutrientes. Mengel e Kirkby (1987) relatam que o transporte de K ocorre com facilidade e aqueles órgãos supridos pelo floema como folhas novas, tecidos meristemáticos e os frutos frescos apresentam alta concentração. Os teores de K para cascas e sementes foram de $2,57$ até $2,93$, e de $3,11$ até $3,86 \text{ dag kg}^{-1}$ respectivamente, que diferem dos encontrados por Santos (2011) de $4,35$ e $0,63 \text{ dag kg}^{-1}$ nos mesmos compartimentos, respectivamente. No trabalho de Silva (2013) os teores para frutos foram de $2,26$ e $2,29 \text{ dag kg}^{-1}$ para a população J1 e B1 respectivamente, e Laviola e Dias (2008) reportou $1,49 \text{ dag kg}^{-1}$. No estudo de Lima (2014) observou-se que o K foi o segundo nutriente mais exportado pelo fruto e, a

maior necessidade deste nutriente ocorreu a partir do dia 37 após antese até maturação do fruto, mostrando que a fase de enchimento de grão é o momento quando a cultura apresenta maior requerimento deste nutriente. O K é um nutriente altamente móvel e pode ser mobilizado desde outros tecidos da planta inclusive sob condições de baixa absorção do solo. Também é um nutriente necessário na ativação de enzimas essenciais para a síntese de compostos orgânicos, incluindo os açúcares solúveis (Marschner, 2002), que são produzidos durante a maturação dos frutos.

Em relação ao N, que foi o segundo nutriente com maior teor nos frutos, foram encontrados valores de 0,69 até 0,94 dag kg⁻¹ e 2,67 até 2,82 dag kg⁻¹ para casca e semente, respectivamente, próximos aos reportados por Santos (2011) de 0,67 e 2,47 dag kg⁻¹ nos mesmos compartimentos e acima dos reportados por Laviola e Dias (2008) de 2,1 dag kg⁻¹ no fruto inteiro. Sendo que os frutos tem maior demanda metabólica de N e sua acumulação aumentou desde os 27 dias até maturação segundo Lima (2014), esperar-se-ia que os estádios de maturação poderiam ter efeito sobre os teores, porem não houve diferença estatística entre as medias das sementes. Dias et al. (2007) reportaram que após a abertura da primeira flor, as outras se abrião diariamente durante cerca de 11 dias consecutivos. Nesse sentido, pode-se inferir que a diferença de idades dos frutos não foi suficiente para verificar variações dos teores estatisticamente significativas.

O teor de Ca em folhas foi de 1,33 dag kg⁻¹, os reportados por (Lima, 2014; Laviola & Dias, 2008 e Santos, 2011) de 1,15, 1,90 e 3,77 dag kg⁻¹ respectivamente, variam amplamente. Lima (2014) avaliando mensalmente folhas relata que os níveis de Ca diminuíram gradativamente através do ano sem ter relação com a fase de crescimento da planta, e pelos maiores teores na fase em que as plantas retomaram seu crescimento vegetativo, dinâmica que difere em vista de sua mencionada baixa mobilidade no floema.

Em relação aos frutos as sementes apresentaram 2,57 dag kg⁻¹ em media, diferindo amplamente do reportado por (Santos, 2011; Silva, 2013) com 0,39 e 0,56 dag kg⁻¹, respectivamente, valores que possivelmente contribuíram com o efeito da interação populações x compartimentos (F=2,84; p= 0,007). O desdobramento dessa interação mostrou que houve efeito das populações dentro das sementes verdes e amarelas (Tabela 7). Isso indica que as populações afetaram os teores de cálcio

possivelmente por suas diferenças genéticas na forma como o absorvem, em função de suas características do desenvolvimento radicular como comprimento, massa, número, diâmetro, velocidade de crescimento e atividade delas. Fageria (1998) relata que existe variabilidade genética entre espécies e cultivares da mesma espécie, na absorção e utilização de nutrientes; entretanto, é preciso se conhecer melhor os mecanismos de absorção e utilização de nutrientes e, também, a natureza e herança da eficiência.

Epstein & Bloom (2006), relatam que um sistema radicular bem desenvolvido resulta em maior exploração do solo e, conseqüentemente, maior quantidade de nutriente absorvido. Pinto (2009), avaliando a influência da morfologia radicular na absorção conjunta de nutrientes em clones de eucalipto, verificou que os genótipos possuem diferenças nas características radiculares, sendo que aqueles com sistemas radiculares mais desenvolvidos absorvem maior quantidade de nutrientes.

Tabela 7. Desdobramento da interação para teor (dag kg^{-1}) de Ca de duas populações de *J. curcas* nos compartimentos da planta

Compartimento	População	
	J1	B1
Semente V	2.55 aB	3.02 aA
Semente A	2.36 aB	2.86 aA
Semente S	2.3 a	2.35 b
Folha	1.26 b	1.39 c
Tronco	0.76 c	0.78 d
Casca A	0.23 d	0.24 e
Casca S	0.32 d	0.31 e
Casca V	0.21 d	0.22 e
Ramo	0.38 cd	0.42 de

Médias seguidas por letras minúsculas e maiúsculas iguais na mesma coluna e linha, respectivamente, não diferem entre si pelo agrupamento do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em relação aos teores de P nos frutos foram encontrados valores de 0,04 a 0,07 e de 1,17 a 1,22 dag kg⁻¹ para cascas e sementes, respectivamente, que comparados aos teores reportados por Santos (2011) de 0,07 e 0,56 dag kg⁻¹ nos mesmos tecidos foram similares para os teores na casca. Laviola e Dias (2008) reportam teores de 0,41 dag kg⁻¹ no fruto inteiro. Nos dois trabalhos as idades dos árvores foram de 4 anos e 1 ano, respectivamente, mostrando que a idade dos árvores não tem influência marcante sobre os teores de P nos frutos. Portanto os teores nas sementes estiveram acima dos reportados, o que pode estar relacionado a sua participação na produção de ácidos graxos nas sementes como já foi mencionado.

Na Tabela 8 apresentam-se os acúmulos dos nutrientes em *J. curcas* com a seguinte ordem: N>K>Ca>Mg>P>S, igual à reportada por Neto (2011) em acessos de 4 anos. Essa ordem foi verificada no compartimento folhas, diferindo do encontrado por (Laviola e Dias, 2008) só na posição de K por Ca. Para os frutos os acúmulos de nutrientes foram: K>N>Ca>P>Mg>S, diferente da relatada por (Laviola e Dias, 2008) na posição de K por N. Tanto para folhas como para frutos o conteúdo de K ocupou na ordem de acúmulo a segunda e primeira posição, indicando uma possível situação de consumo de luxo deste nutriente.

Marschner (2002) menciona que quando o fornecimento de K é abundante, o "consumo de luxo" de K ocorre frequentemente em tecidos vegetativos e órgãos reprodutivos, o que merece atenção por sua possível interferência com o absorção e disponibilidade fisiológica de Mg e Ca e assim, a incidência de deficiências induzida por K. Neste sentido, a disponibilidade de K no solo foi definida como média, que somado ao fornecimento do adubo aplicado pode ter contribuído com maior absorção.

Nitrogênio foi o nutriente mais acumulado dentre os macronutrientes principalmente em ramos e folhas; os menores acúmulos foram para os frutos, em razão da sua menor MS. Já nos frutos o N foi o segundo nutriente mais acumulado. Lima (2014) encontrou que o N foi o nutriente mais acumulado nos frutos durante o seu ciclo até maturação.

O maior acúmulo de K em relação a N permite inferir que não existiu competição na absorção deles pela planta. Viana e Khiel (2010), relatam o efeito positivo de doses de N e K na maior produção de massa de matéria seca e maior teor de clorofila nas folhas de trigo e que o K não influencia a atividade da redutase do nitrato e o acúmulo do N no tecido vegetal, indicando que os efeitos de K e N são sinérgicos. Por tanto, pode-se dizer que as populações acumularam mais K em função de sua maior disponibilidade no solo sem afetar o acúmulo de N.

Tabela 8. Acúmulo médio de nutrientes nos compartimentos em duas populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ha ⁻¹)					
Ramo	221,8 a	16,1 a	182,2 a	107,9 a	28,1 a	8,6 a
Folha	86,2 b	4,1 b	45,7 b	37,0 b	17,8 b	3,5 b
Tronco	16,8 c	1,9 c	26,5 c	28,2 b	4,6 c	0,8 c
Fruto Verde	5,4 c	1,9 cb	7,6 d	4,3 c	2,7 dc	0,5 c
Fruto Amarelo	5,3 c	1,8 c	7,2 d	4,3 c	2,6 dc	0,5 c
Fruto Seco	1,9 c	0,7 c	2,9 d	1,8 c	1,1 d	0,2 c
Média	56,2	4,4	45,3	30,6	9,5	2,3
CV (%)	31,7	27,9	22	24,6	19,3	47,1

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à partição dos acúmulos de nutrientes nos compartimentos das plantas, os ramos registraram as maiores proporções de todos os nutrientes com os maiores acúmulos para K e N, seguido das folhas, tronco e as menores proporções de nutrientes para os frutos (Tabela 9), indicando que as diferenças nos valores de acúmulo de nutrientes nos compartimentos está influenciada pela produção de MS.

Tabela 9. Partição de nutrientes em populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(%)					
Ramo	65,67	60,39	66,95	58,73	49,18	60,56
Folha	25,53	15,47	16,77	20,17	31,24	24,75
Tronco	5,00	7,12	9,74	15,37	8,05	5,72
Fruto Verde	1,62	7,32	2,79	2,37	4,82	3,97
Fruto Amarelo	1,59	6,90	2,66	2,36	4,65	3,54
Fruto Seco	0,59	2,81	1,09	1,01	2,07	1,47
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

4.3. Índices de eficiência nutricional

A avaliação da eficiência nutricional nas populações partiu das análises de variância realizadas para comparar o acúmulo total de nutrientes, sendo a soma dos acúmulos nos compartimentos e que expressa a quantidade absorvida na parte aérea (Tabela 10). Não houve efeito significativo das populações ($F= 0,59$; $p= 0,45$), portanto, as populações conseguiram acumular nutrientes em quantidades similares. Supõe-se que existiu uma reduzida variabilidade genética entre as populações no acúmulo de nutrientes, e que os mecanismos responsáveis pela absorção e utilização de nutrientes tiveram um comportamento semelhante. Segundo Marschner (1995), as diferenças genotípicas quanto à eficiência nutricional ocorrem por várias razões, as quais estão relacionadas à absorção, ao transporte e à utilização dos nutrientes pelas plantas.

Tabela 10. Acúmulo total médio de nutrientes na parte aérea de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Acúmulo	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ha ⁻¹)					
Média	331,55	26,51	268,75	181,08	56,88	14,16
CV (%)	17,34	15,46	20,74	13,48	15,01	28,93

A eficiência de utilização de nutrientes é apresentada por meio de índices, o que permite evidenciar as proporções de nutrientes que os compartimentos utilizam para produção de MS e a translocação deles para o órgão colhido. As análises de variância mostram que o efeito das populações não foi significativo para os índices de eficiência nutricional utilizados, sendo verificado somente efeito significativo dos compartimentos e em alguns índices, apresentando-se interação entre população x compartimento. São apresentados os valores do índice CUB dos nutrientes nos compartimentos na Tabela 11, mostrando que houve interação entre populações e compartimentos para P e Mg. Os maiores valores de CUB foram registrados para S e P nos compartimentos ramo e tronco, o que pode estar influenciado pela maior MS comparados aos demais compartimentos. Nos frutos os valores de CUB evidenciaram que dentro dos nutrientes, o S é o mais eficientemente utilizado, seguido por Mg, P, Ca, N e K. O índice CUB dos frutos é uma importante informação desde o ponto de vista produtivo, pois oferece uma ideia da quantidade de nutriente demandada para determinada produção e da mesma forma indica a eficiência de utilização dos nutrientes. Os valores médios do CUB (kg kg^{-1}) para os macronutrientes nos frutos foram de 47,89, 124,32, 31,90, 56,62, 86,27 e 447,89 para N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente.

Tabela 11. Coeficiente de utilização biológico médio (CUB) nos compartimentos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg kg ⁻¹)					
Tronco	221,30 a	1949,07 *	144,38 a	131,62 b	811,82	5486,11 a
Ramo	123,21 b	1691,3 *	149,61 a	250,15 a	961,41 *	3582,57 b
Fruto Verde	50,26 c	69,04	34,34 c	56,72 d	85,64	476,98 c
Fruto Amarelo	48,31 cd	64,75	33,56 c	57,34 d	89,74	449,5 c
Fruto Seco	45,08 cd	55,26	27,79 c	55,8 d	83,42	417,2 c
Folha	32,45 d	679,56	62,74 b	76,26 c	158,34	842,98 c
Média	86,7	782,1	75,4	104,7	365,0	1875,8
CV (%)	17,0	14,9	15,3	11,4	16,6	66,3

Médias com letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

* Efeito da interação.

O desdobramento da interação (Tabela 12) da população dentro dos compartimentos mostrou que o CUB para P somente nos compartimentos tronco e ramo foi significativamente diferente entre populações, tendo maiores valores a população (J1). Para Mg o compartimento que difere entre as populações é o ramo com maiores valores também para a população (J1), mostrando que só em compartimentos com alta produção de biomassa seca é possível verificar diferenças entre populações para esses nutrientes.

Tabela 12. Interação entre populações de *Jatropha curcas* L. e compartimentos para o CUB.

Compartimento	População			
	J1	B1	J1	B1
	P		Mg	
Tronco	2064,81 aA	1833,33 aB	800,28 b	823,37 a
Ramo	1813,26 bA	1569,35 bB	1027,69 aA	895,12 aB
Folha	676,59 c	682,54 c	165,54 c	151,15 b
Fruto Verde	133,35 d	137,10 d	86,58 c	84,7 b
Fruto Amarelo	123,38 d	133,10 d	89,77 c	89,71 b
Fruto S eco	115,63 d	103,33 d	87,15 c	79,69 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O CUB como foi calculado da ideia de um índice de eficiência de utilização por compartimento da parte aérea. Barros et al. (1990) relata que a eficiência de utilização de nutrientes para produção de cada componente de biomassa é maior quanto maior o número de unidades de biomassa produzida por unidade de conteúdo de nutrientes, denotando baixas concentrações. Assim, a eficiência de utilização de nutrientes é maior quanto maior a produção de biomassa e quanto menor a concentração ou o conteúdo de nutrientes nessa biomassa.

Os valores do índice de eficiência de utilização do nutriente (EUN) são mostrados na Tabela 13. Dentre dos nutrientes o S e P apresentaram as maiores eficiências, principalmente nos ramos e troncos. O EUN reflete melhor a produção

MS porque relaciona duas variáveis, já que o índice expressa a relação entre as variações na produção de matéria seca pelas variações no teor do nutriente. Portanto é um índice mais completo que o CUB para comparar genótipos que mostram diferenças na produção de MS. Para Swiader et al. (1994) a utilização eficiente de nutrientes é a capacidade relativa das plantas produzirem máximas quantidades de matéria seca para cada incremento de nutriente acumulado.

Tabela 13. Índice de eficiência de utilização do nutriente (EUN) médio nos compartimentos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ² kg ⁻¹)					
Ramo	1969,3 a	26902,0 a	2398,3 a	4027,5 a	15515,4 a	51820,0 a
Tronco	513,0 b	4572,0 b	326,8 b	309,3 b	1889,2 b	10810,0 b
Folha	56,6 c	1183,0 cb	107,5 b	132,4 b	275,9 b	1394,0 c
Fruto Verde	7,4 c	21,0 c	5,3 b	9,40 b	14,70 b	73,0 c
Fruto Amarelo	7,7 c	23,0 c	5,7 b	9,75 b	15,60 b	83,0 c
Fruto Seco	3,3 c	9,0 c	2,2 b	3,50 b	5,50 b	31,0 c
Média	426,2	5451,4	474,3	748,6	2952,7	10701,7
CV (%)	41,7	36,2	53,17	43,45	55,6	48,3

Medias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O índice EUI reflete a produção de MS pelos compartimentos em relação à quantidade total de nutriente absorvido na parte aérea. A análise de variância mostrou apenas efeito significativo dos compartimentos (F=298,4; p=0,0001) (Tabela 14). Já frutos verdes e amarelos não diferem estatisticamente para todos os nutrientes. Desta forma a proporção média de MS em kg que é produzida por kg de nutriente acumulado se apresentou assim: 0,74, 9,33, 0,91, 1,39, 4,38 e 18,17 para N, P, K, Ca, Mg e S, e fornece uma ideia da exportação relativa do nutriente no fruto.

Tabela 14. Eficiência de uso integralizada (EUI) média do nutriente nos compartimentos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg kg ⁻¹)					
Ramo	78,23 a	991,32 a	97,22 a	142,70 a	461,76 a	1868,78 a
Tronco	11,05 b	140,46 b	13,68 b	20,22 b	64,87 b	262,38 b
Folha	8,32 cb	105,01 cb	10,28 cb	15,29 b	48,74 cb	200,23 cb
Fruto V	0,75 cd	9,34 c	0,91 c	1,39 c	4,35 cb	18,46 c
Fruto A	0,74 cd	9,33 c	0,92 c	1,39 c	4,41 cb	17,88 c
Fruto S	0,31 d	3,89 c	0,38 c	0,57 c	1,77 c	7,54 c
Média	16,5	209,8	20,5	30,2	97,6	395,8
CV (%)	26,3	28,3	31,0	20,8	35,5	32,4

Medias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O índice de translocação para o fruto (ETF) expressa a proporção do nutriente que é alocado nos frutos em relação ao total absorvido pela parte aérea. É considerado índice de colheita. Os valores do índice (Tabela 15) mostraram que não existe diferenças significativas entre frutos amarelos e verdes indicando que independentemente do estágio de maturidade a planta aloca quantidades similares de nutrientes para os frutos. Já para os frutos secos que apresentaram diferenças com relação a frutos verdes e amarelos, as quantidades foram menores em razão da sua menor MS. É preciso aclarar que este índice é correspondente com a partição de nutrientes referida na tabela 9.

Tabela 15. Eficiência de translocação (ETF) médio para os frutos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	N	P	K	Ca **	Mg	S
	(kg/kg)					
Fruto Verde	1.56 a	6.96 a	2.73 a	2,47	5.15 a	4.02 a
Fruto Amarelo	1.65 a	7.24 a	2.8 a	2,42	4.77 a	4.66 a
Fruto Seco	0.71 b	3.63 b	1.37 b	1,04	2.12 b	2.14 b
Média	1,31	5,94	2,3	1,98	4,01	3,61
CV (%)	48,4	45,4	46,1	44,70	46,8	45,5

Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. MS: massa de matéria seca. ** Interação.

As análises de variância mostram que houve interação entre as populações e os compartimentos para cálcio. No seu desdobramento só foi encontrado efeito significativo dos componentes dentro das populações, revelando que os tipos de frutos diferem estatisticamente dentro de cada população (Tabela 16).

Tabela 16. Interação entre compartimentos e populações de *Jatropha curcas* L. para o índice de eficiência de translocação de Cálcio para o fruto.

Compartimento	População	
	J1	B1
Fruto verde	2,90 a	2,04 ab
Fruto amarelo	1,88 ab	2,96 a
Fruto seco	0,76 b	1,32 b

Medias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. .

As diferenças reveladas no desdobramento com respeito ao índice de translocação para os frutos indicam, que Ca apresentou respostas variáveis respeito a sua mobilidade, pois observando os dados na população J1 pode-se pensar que houve um efeito de diluição pelo crescimento, ao fruto passar do estágio verde para amarelo. No entanto a MS dos frutos foi similar, razão pela qual o efeito de diluição não explica as variações de magnitude sendo que os nutrientes imóveis no floema

como Ca não apresentam afeito de diluição segundo Neves (2015). Quanto ao comportamento da população B1 houve aumento do acúmulo de cálcio ao passar do fruto verde a fruto amarelo (Tabela 16) em concordância com Lima (2014), que relata que a acumulação de Ca nos frutos foi linear, incrementando gradualmente com o crescimento do fruto. Já para os frutos secos nas duas populações o índice mostra os valores mais baixos porque seus acúmulos foram menores em razão da sua menor MS, e por outro lado os teores de Ca refletem esse padrão de variação diminuindo entre frutos verdes até secos Mengel & Kirkby (1987) relatam que o influxo de Ca no fruto cai bruscamente depois de sua maturação, mas a diminuição entre os estádios dos frutos foi de menor magnitude sendo não significativa estatisticamente.

5. CONCLUSÕES

As populações não apresentaram variabilidade genética quanto à produção de matéria seca, teores e acúmulo de macronutrientes. Somente apresentaram diferenças para teor de Ca ao nível de sementes.

A partição de nutrientes nos compartimentos mostrou maiores proporções em ramos seguido das folhas, tronco e frutos, e seu acúmulo obedeceu mais a produção de massa de matéria seca.

Frutos são drenos importantes de nutrientes, portanto as recomendações e práticas de adubação, devem garantir que sua demanda seja disponibilizada pelo solo.

Tem se uma aproximação das quantidades de macronutrientes acumuladas pelas plantas, em dois sentidos, como acúmulo total e pela estimação do coeficiente de utilização biológica (CUB), que fornece de forma global a demanda de nutrientes pela cultura.

6. REFERENCIAS

- ADBRABBO, A.; ABOU KHEIRA.; NAHED, M.M. Response of *Jatropha curcas* L. to water déficits: yields, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy* 33: 1343-1350. 2009.
- AMARAL, J.F.T. Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica. 2002. 97 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- ANGHINONI, I.; VOLKART, C. R.; FATTORE, N.; ERNANI, P. R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, n. 3, p. 355-361, 1989.
- ANP (2014) Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=472>> Acesso em: Novembro de 2014.
- ARRUDA, F,P.; BELTRAO, N, E, M.; ANDRADE, A, P.; PEREIRA, W, E.; SEVERINO, L,S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L) como alternativa para o semi-árido nordestino. *R. Bras. Oleag. Fibrosas*, 8: 789-799, 2004.
- AWAL, M.; WAN, I.; ENDAN, J.; Y HANIFF, M. Regression model for computing leaf area and assessment of total leaf area variation with fronda ages in oil palm. *Asian J. Plant. Sci.* 3(5):642-646. 2004.
- Ayala, I. Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento en materiales de palma de aceite (*Eleaeis guinensis* Jacq). *Palmas* 21(2):10-21, 2012.
- BALIGAR V. C.; FAGERIA N. K.; & HE Z. L. Nutrient Use Efficiency In Plants, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:7-8, 921-950. 2001.

- BARROS, N, F.; NOVAIS, R, F.; CARMO, D, N.; NEVES, J,C,L. Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, 10:112-120.
- BARROS, N, F.; NOVAIS, R, F.; TEIXEIRA, R, F.; FERNANDES FILHO, E, I. Nutricalc 2.0 Sistema para calculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*, n16, 129-131, 1995.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1-24, 1990.
- BEHERA, S. K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J. P.; SINGH, N. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass – A case study. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 1, p. 30-41, 2010.
- BICUDO, T.C et al. Estabilidade e tempo de indução oxidativa do óleo de pinhão manso para produção. In: II CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, crbtb, 26, 2007, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF: MCT/Abipit, 2007. Disponível em <http://biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/caracterizacao/26.pdf> Acessado em 18/12/2014.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- BRASIL (1985) Ministério da indústria e do comércio: Secretaria de tecnologia industrial. *Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais*. Brasília: STI/CTI, 354p.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; RODRIGUES, L. M. Teor e redistribuição de nutrientes nas folhas e galhos em um povoamento de *Acacia*

mearsii de Wild. (*Acacia negra*). Boletim de Pesquisa Florestal, v.45, p.69-88, 2002.

CAMARGOS, S. L.; MURAOKA, T. Teores, acúmulo e redistribuição de macronutrientes em castanheira-do-brasil. Revista Agricultura Tropical, v.10, p.72-83, 2007.

COSTA, E. L.; SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; MOURA, N. A. Adubação de pinhão manso (*Jatropha curcas* L) com nitrogênio e fosforo. Congresso brasileiro de plantas oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel, 4, Varginha, MG. Anais. Varginha-MG: Universidade Federal de Lavras, 2007.

DEL MOLINO, I. M. M. Relationship between wheat grain protein percentage and grain yield, plant growth, and nutrition at anthesis. Journal of Plant Nutrition, v. 15, n. 2, p. 169-178, 1992.

DEUS, F. P. Produção de Pinhão manso submetido a diferentes laminas de irrigação e níveis de adubação potássica. 81 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG: 2010.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; DIAS, D. C. F. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível. Viçosa: 40 p. 2007.

DRUMOND, M. A.; SIMÕES, W. L.; ANJO, J. B.; EVANGELISTA, M. R. Produção e distribuição da biomassa da parte aérea do pinhão manso irrigado, aos dois anos de idade, em Santa maria da boa vista-PE. III Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 412 p. 1999.

- EBERHARDT, D.S.; SILVA, P.R.F.; RIEFFEL NETO, S.R. Eficiência de absorção e utilização de nitrogênio por plantas de arroz e dois ecótipos de arroz vermelho. *Planta Daninha*, v. 17. P. 309-323, 1999.
- ÉGUIA, M.T.J. (2006) Pinhão manso e Biodiesel. In: Seminário Potencial do Pinhão manso para Programa Nacional de Biodiesel. Disponível em: www.fepad.org.br. Acesso em: fevereiro de 2015.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análises do Solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p. 1997.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina, Planta, 401 p. 2006.
- ERASMO, E.A.L.; MATA, J.F.; FIDELIS, R.R.; SANTOS, G.R.; SILVA, A.A. Desenvolvimento de plantas de pinhão manso em resposta à adubação fosfatada (1º ano). In: Congresso Brasileiro De Pesquisa Em Pinhão Manso, 1. Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2009.
- EVANGELISTA, A.W.P.; ALVES JÚNIOR, J.; FERREIRA, R.C.; REZENDE, M.A.; NOGUEIRA, K.M.G.; BARBOSA, R.A.F. Rendimento do pinhão manso submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de adubação potássica. In: Congresso Brasileiro De Pesquisa Em Pinhão Manso, 1. Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2009.
- FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola. Ambiental*, Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.
- FAVARIN, J.L.; NETO, D, D.; GARCÍA, A, G.; NOVA, N,A,V.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.6, p.769-773, 2002.

- FERRÉS, L., RODÁ, F., VERDÚ, A.M.C., TERRADAS, J. Circulación de nutrientes em algunos ecosistemas forestales de Montseny (Barcelona). *Mediterranea, Ser. Biol.*, 7, 139-166. 1984.
- FURLAN, J.; KALTNER, F.J.; AZEVEDO, G.E.P.; CAMPOS, I.A. Cultivo do pinhão manso. In: *Biodiesel*, 1ª Ed. Belem, p. 134-150. 2006.
- FURLANI, A.M.C.; CLARCK, R.B.; MARANVILLE, J.W.; ROSS, W.M. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake, phosphorus efficiency, phosphorus mobilization and utilization. *J. Plant. Nut.*, v. 7, n.7, p. 1113-26. 1984.
- GERLOFF, G.C. & GABELMAN, W.H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LÄUCHLI, A. & BIELESKI, R.L. ed. *Inorganic plant nutrition*. New York, Springer-Verlag, 1983. p.453-480.
- GEORGE, A. P.; NISSEN, R. J.; CARSELDINE, M. L. Effect of season (vegetative flushing) and leaf position on the leaf nutrient composition of *Annona* spp. Hybrid cv. Pink's Mammoth in south-eastern Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.29, p.587-595, 1989.
- GUSMAO, C, A, G. Desempenho do Pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) de segundo ano submetido a diferentes doses e relações de NPK. 81 f. Dissertação (Mestrado Produção vegetal) Universidade estadual de Montes Claros, Montes claros, MG: 2010.
- HELLER, J. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilised and neglected crops. 1. Gatersleben, Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research and Rome. International Plant Genetic Resources Institute.66 p, 1996.
- JONGSCHAAP, R. E. E; CORRE, W. J.; BINDRABAN, P. S.; BRANDENBURG, W. A. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. *Plant Research International Report*, Wageningen, p. 158. 2007.

- KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Physiology of wood plants. 2nd ed. San Diego: Academic, 411 p, 1996.
- KUMAR, P.; PANDEY, R. M. Sampling for mineral content in leaves of guava cultivar 'Lucknow-49'. *Scientia Horticulturae*, v.11, p.163-174, 1979.
- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.
- LAVIOLA, B.G. Nutrição mineral e adubação do pinhão manso. In: I circuito nacional de dias de campo de Pinhão manso. Janaúba, MG. Anais ABPPM, 2009. CD-ROM.
- LEITAO, A,C.; SILVA, O,A. Variação sazonal de macronutrientes em uma espécie arbórea de cerrado, na Reserva Biológica e Estação Experimental de Mogi-Guaçu, estado de São Paulo, Brasil. *Rodriguésia* 55 (84): 127-136. 2004.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-manso entre estádios fenológicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1175-1179, 2011.
- LIMA, R, S, L.; AZEVEDO, C, A, V.; GHEYI, H, R.; SOFIATTI, V.; CAZETTA, J, O.; JÚNIOR, G, C, S.; ARRIEL, N, H. Seasonal variation of nutrient content in the foliage of *Jatropha curcas*. *Ciências Agrárias, Londrina*, v. 35, n. 6, p. 3031-3042. 2014.
- MAIA, J, T, L,S.; GUILHERME, D.O.; PAULINO, M, A, DE O.; SILVEIRA, H, R DE O.; FERNADES, L, A. Efeito da missão de macro e micronutrientes no crescimento de Pinhão manso. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.24, n.2 p. 174-179. 2011.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 319 p, 1997.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 889p. 1995.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic, 889p. 2002.
- MATOS, S, F. Caracterização fisiológica da senescência foliar em populações de *Jatropha curcas* L. 48 f. Tese (Doutorado Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG: 2010.
- MARTINS, L. D. et al. Desenvolvimento inicial de mamona e pinhão manso em solo submetido a diferentes corretivos e doses de fósforo. Revista Verde, v. 5, n. 01, 143-150, 2010.
- MATOS, S, F.; OLIVEIRA, L, R.; FREITAS, R, G.; EVARISTO, A, B.; MISSIO, R, F.; CANO, M,A,O.; DIAS, L,A,S. Physiological characterization of leaf senescence of *Jatropha curcas* L. populations. Biomass and Bionergy. 45: 57-64, 2012.
- MATOS, S, F.; ROSA, R,V.; BORGES, O,L.; RIBEIRO, P,R.; CRUVINEL, L,K.; DIAS, L,A,S. Response of *Jatropha curcas* plants to change in the availability of nitrogen and phosphorus in Oxissol. State University of Goias. African Journal of Agricultural Research. v. 9, 3581- 3586. 2014.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute, 687 p. 1987.
- MESQUITA, E. F.; CAVALCANTE, L. F.; GONDIM, S. C.; CAMPOS, V. B.; CAVALCANTE, I. H. L.; GONDIM, P. B. Teores foliares e exportação de nutrientes do mamoeiro baixinho de Santa Amália tratado com biofertilizantes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiás, v. 40, n. 1, 66-76, 2010.

- NEVES, J, C, L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea de Espírito Santo. 191 p. Tese (Doutorado em produção vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ: 2000.
- NOBREGA, J.A.; AZEVEDO, C.A.V.; NASCIMENTO, J.J.V.R.; NOBREGA, J.A.; DANTASNETO, J. Adubação fosfatada do pinhão manso: efeitos sobre a biomassa seca. In: Congresso Brasileiro De Pesquisa Em Pinhão Manso, 1. Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2009.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 300 p, 1999.
- OLIVEIRA, E.L.; FARIA, M.A.; EVANGELISTA, A.W.; MELO, P.C. Resposta do pinhão-manso à aplicação de níveis de irrigação e doses de adubação potássica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.6, 593–598, 2012.
- OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. Química Nova na Escola, v.1, n. 28, p. 2-8, 2008.
- PATHAR, R. A.; PANDEY, R. M. Sampling for mineral content in leaves of mango cultivar ‘Dashehari’. Scientia Horticulturae, v.5, p.255-264, 1976.
- PEDRAZA, E, A, S.; CAYÓN, D,G,S. Caracterización morfofisiológica de *Jatropha curcas* L. variedad Brasil cultivada en dos zonas de Colombia. Acta Agronomica. 59 (1): 30-36, 2010.
- PEIXOTO, A, R. Plantas oleaginosas arbóreas. São Paulo: Nobel. 284 p. 1973.
- PINTO, S. I. C. Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio, e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clone de eucalipto. 102

- f. Tese (Doutorado Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG: 2009.
- PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. Nutrição de plantas diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal-SP, FCAV/Unesp, 301 p, 2008.
- PURCINO, A, A.; DRUMMOND, O, A. Pinhão manso. Belo Horizonte: EPAMIG, 7 p, 1986.
- RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1991. 343 p.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5.a aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359 p. 1999.
- SANTOS, J.A. Biomassa e nutrientes em Pinhão manso e sistema de adubação com base no balanço nutricional. 63 f. Tese (Doutorado Solos e nutrição de plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG: 2011.
- SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Informe Agropecuário, v.26, p.44-78, 2005.
- SEVERINO, L.; CARDOSO, G.; VALE, L.; Y SANTOS J. Método para determinação da área foliar da mamoeira. Rev. Bras. Oleag. Fibr. 8(1): 753-762. 2004.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. Journal Plant Nutrition, v.4, n.3, p. 289-302, 1981.

- SILVA, J.C.; FIDELIS, R.R.; ERASMO, E.A.L.; SANTOS, P.M.; BARROS, H.B.; CARVALHO, G.L. Florescimento e frutificação de genótipos de pinhão manso sob doses de fósforo no cerrado da região sul do Tocantins. In: Congresso Brasileiro De Pesquisa Em Pinhão Manso, 1. Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2009.
- SILVA, D.F. Crescimento, rendimento em óleo e proteína e partição de nutrientes de populações de *Jatropha curcas* L. 137 f. Tese (Doutorado Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG: 2013.
- SILVA, J.T.A. Avaliação do estado nutricional do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) adubado com nitrogênio e fósforo. 6º Congresso Brasileiro de plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, CBPOOGB. Montes Claros, MG. 2009.
- SILVA, E.B.; TANURE, L.P.P.; SANTOS, S.R.; RESENDE JÚNIOR, P.S. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília–DF, v.44, n.4, p.392-397, 2009.
- SOUZA, P.T.; SILVA, E.B.; GRAZZIOTTI, P.H.; FERNANDES, L.A. NPK fertilization on initial growth of physic nut seedlings in Quartzarenic Neossol. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.35, p.559:566, 2011.
- SWIADER, J.M., CHYAN, Y., FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. Journal of Plant Nutrition, v. 17, n. 10, 1687-1699, 1994.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre, Artmed, 719 p, 2004.
- TEDESCO, M.J.; VOLWEISS, S.J.; BOHRNEM, H. Análises de solo, plantas e outro materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. (Boletim técnico, 5).

- TOMAZ, M.A.; AMARAL, J.F.T.; LAVIOLA, B.G.; MARTINS, L.D.; BORCARTE, M.; MANZOLI, R. Desenvolvimento de pinhão manso em um latossolo corrigido com calcário e óxido de magnésio e submetido a diferentes doses de fósforo. In: Congresso Brasileiro De Pesquisa Em Pinhão Manso, 1. Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2009.
- TOME JUNIOR, J, B.; NOVAIS, R, F. Utilização de modelos como alternativas as tabelas de recomendação de adubação. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira da Ciência do Solo. Viçosa, MG, v 25 (3), p 8-11 2000.
- TORRES, C, M.; JACOVINE, L, A.; TOLEDO, D,P.; SOARES, C, P.; RIBEIRO, S, C.; MARTINS, M, C. Biomass and carbon stock in *Jatropha curcas* L. Cerne, Lavras, v. 17, n. 3: 353-359, 2011.
- TOMINAGA, N.; KAKIDA, J.; YASUDA, E,K. Cultivo de Pinhão manso para produção de biodiesel. Viçosa, MG. CPT, 2007. 220 p.
- VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. Bragantia, Campinas, Campinas, v. 64, n.4: 661- 672, 2005.
- VIANA, E. M; KIEHL, J.C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. Bragantia, Campinas, v. 69, n. 4, p975-982, 2010.
- VITOUSEK, P.M. Nutrient cycling and nutrient efficiency. Am. Nat. 119 (4): 553-572, 1982.
- VOSE, P,B. Genetical aspects of mineral nutrition – progress to date. In: Gabelman HW & Louhman (Eds.). Genetic aspects of plant mineral nutrition. Dordrecht, Boston & Lancaster. p.3-13. 1987.

7. APENDICES.

Tabela 1. Produção de massa de matéria seca (MS) em kg/ha de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	População	
	J1	B1
Ramo	27017,97	25609,43
Tronco	3995,22	3429,92
Folha	2700,34	2886,29
Semente A	145,06	189,69
Semente V	198,95	118,82
Casca V	119,53	75,71
Casca A	78,01	572,08
Semente S	56,38	94,79
Casca S	20,05	31,77
Total	34331,51	33008,50

Tabela 2. Teores de nutrientes (dag/kg) nos compartimentos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

Compartimento	População											
	J1						B1					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Folha	3,06	0,15	1,81	1,27	0,62	0,15	3,11	0,15	1,45	1,39	0,67	0,11
Casca V	0,90	0,08	2,67	0,21	0,28	0,09	0,88	0,08	2,47	0,23	0,32	0,08
Semente V	2,74	1,20	3,31	2,55	1,73	0,30	2,71	1,17	3,00	3,03	1,74	0,28
Casca A	0,68	0,04	3,13	0,24	0,30	0,07	4,32	0,28	15,48	1,44	1,91	0,43
Semente A	2,88	1,23	3,26	2,37	1,57	0,48	2,77	1,12	2,97	2,87	1,52	0,27
Casca S	0,93	0,06	3,07	0,33	0,30	0,09	0,97	0,08	2,79	0,31	0,31	0,11
Semente S	2,65	1,16	3,84	2,30	1,46	0,27	2,70	1,28	3,89	2,36	1,59	0,32
Ramo	0,76	0,06	0,69	0,38	0,10	0,04	0,89	0,06	0,68	0,42	0,11	0,03
Tronco	0,45	0,05	0,76	0,77	0,13	0,03	0,47	0,06	0,65	0,79	0,12	0,02

Tabela 3. Resumo análise de variância (quadrado médios) para teores médios de nutrientes de duas populações de *Jatropha curcas* L.

FV	GL	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
Populações (P)	1	1079688	0,0091	0,0001	1,419	0,488	0,0159	0,0151
Error a	10	4192738	0,0793	0,0159	0,256	0,1495	0,0375	0,0116
Compartimentos (C)	8	884830907 *	14,572**	3,769 *	15,220 *	13,944 *	5,425 *	0,203 *
P x C	8	746433	0,0129	0,011	0,105	0,1236 *	0,0063	0,0151
Error b	80	4308442	0,058	0,0111	0,129	0,0435	0,0125	0,0134
Total	107							
CVa (%)		55,12	16,74	28,1	21,17	31,57	26,4	69,68
CVb (%)		55,87	14,32	23,46	15,07	17,02	15,23	74,79

*, Significativo a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 4. Resumo de análise de variância (quadrados médios) para acúmulo médio de nutrientes nos compartimentos em duas populações de *Jatropha curcas* L.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Compartimentos	5	45564,84*	203*	28530,43*	9875,61*	724,64*	66*
CV (%)		31,7	27,9	22,0	24,6	19,3	47,1

*, Significativo a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 5. Resumo análise de variância (quadrados médios) para coeficiente de utilização biológico médio (CUB) de duas populações de *Jatropha curcas* L.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Populações (P)	1	483	109635	1399	2000	8882	6188526
Error a	10	229	24490	285	548	9114	2131783
Compartimentos (C)	5	64625 **	8393696 **	38709 **	71105 **	1994784 **	5551831 **
P x C	5	204	46095 *	275	225	9248 **	1909043
Error b	50	217	13638	134	144	3678	1544654
Total	71						
CV (p) (%)		17,42	20,00	22,39	22,39	26,15	77,83
CV (c) (%)		16,95	14,93	15,34	11,44	16,61	66,25

*, Significativo a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 6. Resumo de análise de variância (quadrados médios) para Índice de eficiência de utilização do nutriente (EUN) médio nos compartimentos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Compartimento	5	3665613,3*	681229946*	5424655*	15565731,6*	230475339*	2540389392*
CV (%)		41,7	36,2	53,2	43,5	55,6	48,3

*, Significativo a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 7. Resumo análise de variância (quadrados médios) para eficiência de uso integralizada (EUI) média do nutriente nos compartimentos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Compartimento	5	5599,05*	899198,61*	8651,16*	18619,35*	195158,50*	3194003,20 *
CV (%)		26,33	28,28	30,95	20,84	35,50	32,44

*, Significativo a 5% respectivamente pelo teste F.

Tabela 8. Resumo análise de variância (quadrados médios) para eficiência de translocação (ETF) médio para os frutos de duas populações de *Jatropha curcas* L.

FV	GL	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
Populações (P)	1	0,03	0,04	0,22	0,22	0,60	0,26	10,97
Erro a	10	0,38	1,62	21,40	3,76	2,92	10,08	14,40
Compartimentos (C)	2	0,82 *	3,24 *	48,38 *	7,81 *	7,91 *	32,54 *	20,53 *
P x C	2	0,28	1,39	23,84	3,34	3,05 *	11,94	7,85
Erro b	20	0,08	0,40	7,31	1,12	0,78	3,52	2,69
Total	35							
CV (p) (%)		97,78	97,33	77,83	84,34	86,53	79,15	105,5
CV (c) (%)		46,78	48,42	45,48	46,15	44,70	46,80	45,55

*, Significativo a 5% respectivamente pelo teste F.