

# Produção de biomassa, diagnose nutricional e absorção de nitrogênio e cálcio durante crescimento inicial do pinhão-manso<sup>1</sup>

Biomass yield, macronutrient diagnosis, and nitrogen and calcium uptake during early growth of physic nut

Raphael Florencio Garrone<sup>2</sup>, Aline Grella de Campos<sup>2</sup>, Cristiane Prezotto Silveira<sup>2</sup> e José Lavres Junior<sup>2\*</sup>

**RESUMO** - As maiores exigências em nitrogênio (N) e cálcio (Ca) têm sido relatadas para as espécies da família Euforbiaceae. Objetivou-se avaliar o suprimento combinado de doses de N e Ca e seu efeito na avaliação do estado nutricional da *Jatropha curcas*, por meio das diagnoses visual, foliar e bioquímica (redutase do nitrato  $\text{RNO}_3^-$  e o teor de clorofila), além de determinar o rendimento de biomassa e os acúmulos de N e Ca durante o crescimento inicial das plantas. Foram utilizadas as doses 2; 9; 16; 23 e 30  $\text{mmol L}^{-1}$  de N e 0,5; 1,75; 3,0; 4,25 e 5,5  $\text{mmol L}^{-1}$  de Ca na solução nutritiva. As concentrações de N, Ca e K, nas folhas utilizadas para diagnose, foram alteradas pelas combinações de doses de N e Ca, enquanto que as concentrações de Mg foram alteradas somente pelas doses de Ca. O aumento das concentrações de N e Ca na solução resultou em incrementos na área foliar e na produção de biomassa de folhas em 400% e 245%, respectivamente. Em média, as quantidades de N e Ca acumuladas nas folhas corresponderam a 29% e 39% do total acumulado nas plantas. O rendimento de biomassa guarda relação direta com a atividade da  $\text{RNO}_3^-$  e teor de clorofila, sendo a faixa de concentração de N nestas folhas de 43 a 45  $\text{g kg}^{-1}$  para a máxima produção. O nitrogênio promove maior impacto no rendimento de biomassa das plantas, todavia, os efeitos são mais expressivos com o aumento da absorção de Ca.

**Palavras-chave:** Área foliar. Diagnose foliar. *Jatropha curcas*. Redutase do nitrato.

**ABSTRACT** - Higher nitrogen (N) and calcium (Ca) requirements than other macronutrients in Euphorbiaceous species have been pointed out in the literature. Thus, the objective of this work was evaluate the effects of N and Ca combination rates on the visual deficiencies of both nutrients, on the macronutrient status, chlorophyll content and nitrate reductase activity ( $\text{RNO}_3^-$ ) taken on the recent expanded leaves of *Jatropha curcas*, as well as to evaluate N and Ca uptake and biomass yield during early plant growth, subjected to 2; 9; 16; 23 e 30  $\text{mmol L}^{-1}$  N rates and 0.5; 1.75; 3.0; 4.25 e 5.5  $\text{mmol L}^{-1}$  Ca rates, in the nutrient solution. Nitrogen, Ca and K concentrations on the recent expanded leaves were changed by N and Ca rates, whereas leaf-Mg concentrations ranged only by Ca supply. Increasing N and Ca rates in solution led to increased leaf area and the leaf biomass yield by 400% and 245%, respectively. On average, N and Ca taken up on leaves accounted for 29% and 39% of the plant uptake. Biomass yield is directly related to  $\text{RNO}_3^-$  activity and chlorophyll content, and the range of N concentration in these leaves related to highest plant dry matter production is 43-45  $\text{g kg}^{-1}$ . In conclusion, N supply causes greater impact on the plant biomass yield; however, the effects are more relevant with increased Ca uptake.

**Key words:** Leaf area. Plant diagnosis. *Jatropha curcas*. Nitrate reductase.

DOI: 10.5935/1806-6690.20160003

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 22/05/2014; aprovado em 16/10/2015

Pesquisa apoiada pela FAPESP e pelo CNPq

<sup>2</sup>Laboratório de Nutrição de Plantas Prof. E. Malavolta, Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba-SP, Brasil, 13.400-970, rfgarrone@yahoo.com.br, alineg.campos@yahoo.com.br, crispsad@gmail.com, jlavres@usp.br

## INTRODUÇÃO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie perene pertencente à família Euforbiaceae, na qual incluem-se também a mamona (*Ricinus communis*.), a mandioca (*Manihot esculenta*), a seringueira (*Hevea brasiliensis*) e a coroa-de-cristo (*Euphorbia milii*). O cultivo de *J. curcas* tem sido incentivado por ser planta oleaginosa com potencial evidenciado para produção de energia limpa, além da capacidade de adaptação destas plantas a regiões áridas e semi-áridas.

Embora tenha sido considerada espécie adaptada às áreas de baixa fertilidade e períodos de seca (ARRUDA *et al.*, 2004; CHAUDHARY *et al.*, 2008), há evidências da alta demanda por nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), enxofre (S) e boro (B) para alto rendimento de óleo e frutos. Adicionalmente, há relatos de produção anual de 5 t ha<sup>-1</sup> de sementes em áreas com condições favoráveis de irrigação e fertilização (BEHERA *et al.*, 2010; KUMAR; SHARMA, 2008; MIGUEL *et al.*, 2013; XU; WANG, 2011; YONG *et al.*, 2010). Entretanto, Souza *et al.* (2011) verificaram redução no crescimento das plantas de *J. curcas* em resposta ao fornecimento de N, mencionando possível baixa demanda em N na fase inicial de crescimento vegetativo. Por outro lado, Silva *et al.* (2009) afirmaram que o N e o cálcio (Ca) foram os nutrientes que mais limitaram o desenvolvimento inicial e a produção de biomassa desta planta.

Deve-se enfatizar, porém, que alguns aspectos nutricionais da cultura, como o conteúdo (ou concentração) de nutrientes nas folhas e caules (CHAUDHARY *et al.*, 2008; CHAVES *et al.*, 2009), ou em folhas e frutos (LAVIOLA; DIAS, 2008) das plantas em fase reprodutiva não refletem necessariamente as exigências nutricionais da fase vegetativa, notadamente no desenvolvimento inicial (PORTELA; LOUZADA, 2012). Há também a premência de se avaliar as quantidades e proporções adequadas dos nutrientes mais extraídos na fase de estabelecimento destas plantas, associando-se a outros métodos complementares de diagnose foliar (RAJAONA; BRUECK; ASCH, 2013; SANTOS *et al.*, 2013).

O N influencia a maioria dos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, como a síntese protéica e fotossíntese, sendo o nutriente mais limitante para a produção de biomassa (YONG *et al.*, 2010). Já o Ca é fundamental para a permeabilidade das membranas e manutenção da integridade celular, sendo exigido para a divisão e expansão das células. É componente da parede celular e lamela média, e ativador de algumas enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos, como a alfa-amilase. A deficiência de Ca promove redução no crescimento de tecidos meristemáticos e resulta na hidrólise de substâncias pécticas, sendo observada,

inicialmente, nos órgãos em crescimento e folhas novas (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

Nesse contexto, parte-se da hipótese de que o desenvolvimento vegetativo e o rendimento de biomassa do pinhão-manso, promovidos pelo incremento no suprimento de N, são modulados pela nutrição em cálcio, notadamente em condições de elevada disponibilidade de N.

Objetivou-se avaliar o suprimento combinado de doses de N e Ca e seu efeito na avaliação do estado nutricional em macronutrientes (*e.g.*, diagnose visual e foliar, atividade da redutase do nitrato e o teor de clorofila) durante o crescimento inicial, buscando determinar o rendimento de biomassa das plantas e os acúmulos de N e Ca, em função do fornecimento de ambos os nutrientes na solução nutritiva.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, no período de setembro a dezembro de 2010. As médias e os respectivos desvios das temperaturas máxima, mínima e média durante o período experimental, foram de 39,3 ± 0,6; 21,5 ± 0,3 e 30,4 ± 0,4 °C. A média da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foi de 64,1% ± 17,7; sendo o ponto de orvalho de 17,4 °C ± 2,7. Foram utilizadas plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), obtidas a partir de sementes coletadas em área de cultivo, no Município de Jales, Estado de São Paulo.

As sementes foram colocadas para germinar em bandeja rasa com vermiculita, umedecida com solução de sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>, 10<sup>-4</sup> mol L<sup>-1</sup>), preparada a partir de água desionizada. Quando as plantas atingiram cerca de 5 cm de altura, foram transferidas para bandeja de plástico com capacidade de 40 L, contendo solução nutritiva completa de Sarruge (1975) e diluída a 1/5 da concentração usual (níveis baixo de força iônica), de modo a evitar o possível estresse salino.

Após a permanência das plantas na solução diluída (bandeja de 40 L) por sete dias, transferiu-se uma planta para cada vaso com capacidade de 2,5 L e contendo 2,0 L de solução nutritiva completa (SARRUGE, 1975), modificada por Silveira e Monteiro (2011), com os respectivos tratamentos. Foram utilizadas as doses de N de 2; 9; 16; 23 e 30 mmol L<sup>-1</sup> e as doses de Ca de 0,5; 1,75; 3,0; 4,25 e 5,5 mmol L<sup>-1</sup> na solução nutritiva (SILVEIRA; MONTEIRO, 2011).

Empregou-se o desenho experimental composto central modificado de um esquema fatorial 5<sup>2</sup> incompleto, fundamentado em Littell e Mott (1975), perfazendo um total de 13 combinações com as doses de N e de Ca (2-0,5;

2-3; 2-5,5; 9-1,75; 9-4,25; 16-0,5; 16-3; 16-5,5; 23-1,75; 23-4,25; 30-0,5; 30-3; 30-5,5), em mmol L<sup>-1</sup>, as quais foram distribuídas segundo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições.

As plantas foram fixadas com espuma de poliuretano, na região do colo, junto à tampa plástica de cada vaso. Durante o desenvolvimento do experimento, as soluções nutritivas sob constante aeração foram renovadas a cada 14 dias, completando-se o volume com água desionizada, quando necessário. Os valores iniciais e finais de pH e de condutividade elétrica, nas trocas de solução foram de  $5,1 \pm 0,4$  e  $4,3 \pm 0,1$ ; e de  $1.188 \pm 212$  e  $584 \pm 200$  mS cm<sup>-1</sup>, respectivamente.

A determinação indireta do teor de clorofila (valores SPAD), com uso do *Chlorophyll Meter SPAD-502* (MINOLTA CAMERA Co., 1989), a determinação das concentrações de N, Ca, K, Mg e S e a atividade da redutase do nitrato (MULDER; BOXMA; VAN VENN, 1959) foram efetuadas no lóbulo mediano da terceira e quarta folha superior recém-expandida (LAVRES JUNIOR *et al.*, 2005), aos 56 dias após o início dos tratamentos (DAT). Determinou-se a área foliar, contabilizando somente as folhas verdes e aquelas em início de senescência, na ocasião do corte das plantas (aos 126 DAT), por meio de um sistema digital, medidor de área foliar LI-3100®. O N foi determinado por método semimicro-Kjeldahl após digestão sulfúrica. Para as determinações das concentrações de K, Ca, Mg e S, procedeu-se a digestão nítrico-perclórica e quantificação por espectrometria de emissão atômica com plasma de argônio (ICP-AES) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Ao final do experimento (aos 126 DAT), as plantas foram colhidas e separadas em caule, folhas (limbo e pecíolo) e raízes. O material foi identificado, acondicionado em sacos de papel e secado em estufa com circulação forçada de ar a 65°C durante 72 horas. Posteriormente, foi pesado, triturado em moinho tipo Wiley (peneira com diâmetro de malha de 1 mm) e realizadas as determinações químicas de N e Ca nos tecidos vegetais. Em função dos resultados das produções de biomassa e das concentrações de N e de Ca nos tecidos vegetais, foram calculados os acúmulos de N e de Ca em toda a planta.

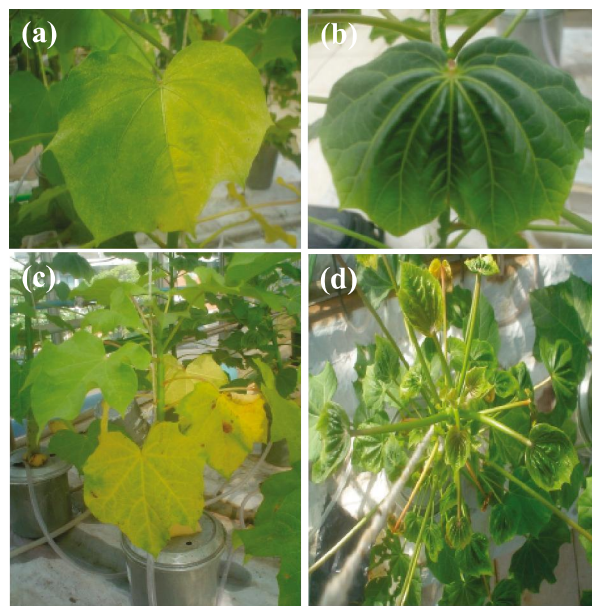
Os resultados foram submetidos à análise estatística utilizando o *software* SAS (SAS, 2000). Procedeu-se a análise de variância, e com base no nível de significância no teste F ( $P < 0,05$ ) para as doses de N e Ca, realizou-se regressão polinomial (superfície de resposta) ou regressão para os componentes de primeiro e segundo grau, por meio do procedimento *GLM* (*generalized linear models*). Assim, considerou-se o modelo de regressão polinomial com o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e significância para as relações estudadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Diagnose Visual

As manifestações visuais das deficiências de N e Ca ocorreram em épocas distintas, sendo as de N observadas aos 38 dias após o início dos tratamentos (aplicação das soluções nutritivas com as concentrações efetivas), notadamente para as doses mais baixas de N (2 e 9 mmol L<sup>-1</sup>). Estas desordens foram caracterizadas principalmente pela clorose generalizada dos limbos foliares, porte baixo das plantas, as quais apresentavam poucas folhas e sistema radicular pouco desenvolvido (Figuras 1a e 1c). A deficiência de Ca foi observada aos 51 dias após o início dos tratamentos, nas plantas cultivadas com as doses mais baixas de Ca (0,5 e 1,75 mmol L<sup>-1</sup>) e foi caracterizada pelo amarelecimento das margens do limbo das folhas mais novas. Com o agravamento da deficiência, estas folhas permaneceram pequenas, mal formadas e retorcidas. Os sintomas mais acentuados da deficiência de Ca foram observados nas plantas do tratamento com a combinação da mais elevada dose de N com a mais baixa de Ca, nas quais constataram-se brotação de caules secundários com folíolos mal formados e retorcidos em relação às plantas bem nutridas e sadias (Figuras 1b e 1d).

**Figura 1** - Diagnose visual da deficiência de nitrogênio em folhas maduras (a), em plantas desenvolvidas no tratamento com menor dose de N, aos 38 dias após o início dos tratamentos (c); e deficiência de cálcio em folha recém-expandida (b) e na parte aérea (d), no tratamento com a maior dose de N e a menor de Ca, aos 51 dias após o início dos tratamentos



### Teores de nutrientes aos 56 e aos 126 dias após o início dos tratamentos (DAT)

Os teores de N nas folhas utilizadas para diagnose foliar, aos 56 DAT, foram influenciadas pelas combinações das doses de N e de Ca na solução nutritiva (Tabela 1). Os valores médios variaram de 17,5 a 42,5 g kg<sup>-1</sup>, da mais baixa para a mais alta combinação de N e de Ca, respectivamente (Figura 2a). Todavia, a maior concentração de N foi observada no tratamento com N em 30 mmol L<sup>-1</sup> e Ca em 0,5 mmol L<sup>-1</sup>, caracterizando o efeito de concentração, pelo menor crescimento das plantas, limitado pelo baixo fornecimento de Ca.

Os valores das concentrações de Ca também variaram em função do suprimento combinado de N e Ca (Tabela 1), partindo de 2,5 g kg<sup>-1</sup> a 16,3 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para as combinações de doses de N e de Ca de 30 e 0,5 mmol L<sup>-1</sup> e de 2 e 5,5 mmol L<sup>-1</sup> (Figura 2b). Por um lado, pode-se observar o “efeito de diluição”, favorecido pelo excesso de N e agravado pelo baixo fornecimento de Ca, e por outro, o “efeito de concentração”, como resultado do baixo fornecimento de N e agravado pela dose mais alta de Ca (HERMANS *et al.*, 2006).

As concentrações de K nas folhas utilizadas para a diagnose foliar (aos 56 DAT) foram influenciadas pela interação das doses de N e de Ca na solução nutritiva (Tabela 1; Figura 2c). A maior concentração de K foi obtida com a combinação de N e Ca de 9,0 mmol L<sup>-1</sup> e

4,25 mmol L<sup>-1</sup>, respectivamente. Por sua vez, os valores médios variaram de 35 a 45 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, da menor para a maior combinação de N e Ca. Pode-se considerar que a elevada concentração de K neste tecido é resultado do menor suprimento de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na solução, devido ao efeito interiônico de inibição competitiva entre K<sup>+</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e, por outro, o “efeito Viets” com o suprimento do Ca na solução, caracterizando o sinergismo, visto que nas maiores doses de Ca foi constatado aumento na concentração de K (VIETS, 1944; MALAVOLTA, 2006). Não foi observada interação significativa entre as doses de N e Ca para as concentrações de Mg nas folhas utilizadas para a diagnose foliar (Tabela 1). Entretanto, as concentrações de Mg neste tecido foram influenciadas negativamente pelo incremento das doses de Ca, sendo que variaram de 8,1 a 5,1 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, da menor dose para a maior de Ca na solução (Figura 2d), caracterizando o efeito interiônico de inibição competitiva (MALAVOLTA, 2006). Para as concentrações de S nas folhas utilizadas para a diagnose, não foi constatada interação entre as doses de N e Ca, nem efeitos isolados tanto de N, quanto de Ca (Tabela 1). A concentração média de S neste tecido foi de 3,4 g kg<sup>-1</sup>.

Não foram observadas interações significativas das doses de N e Ca para as concentrações de N e de Ca nas folhas, caules e raízes nas plantas de pinhão manso aos 126 DAT, sendo apenas constatados efeitos isolados das doses de N e de Ca (Figura 3). As maiores concentrações de N foram verificadas nas folhas e nas raízes e as menores nos caules. As concentração de N variaram de 19 a 38 g kg<sup>-1</sup> e

**Tabela 1** - Análise da variância, valor F e coeficiente de variação observados para os teores de N, Ca, K, Mg, S; valores SPAD; RNO<sub>3</sub><sup>-</sup> avaliados aos 56 dias após o início dos tratamentos (DAT); altura das plantas; diâmetro do caule; área foliar; massa seca das folhas, caule e raízes; teores e acúmulos de N e de Ca aos 126 DAT

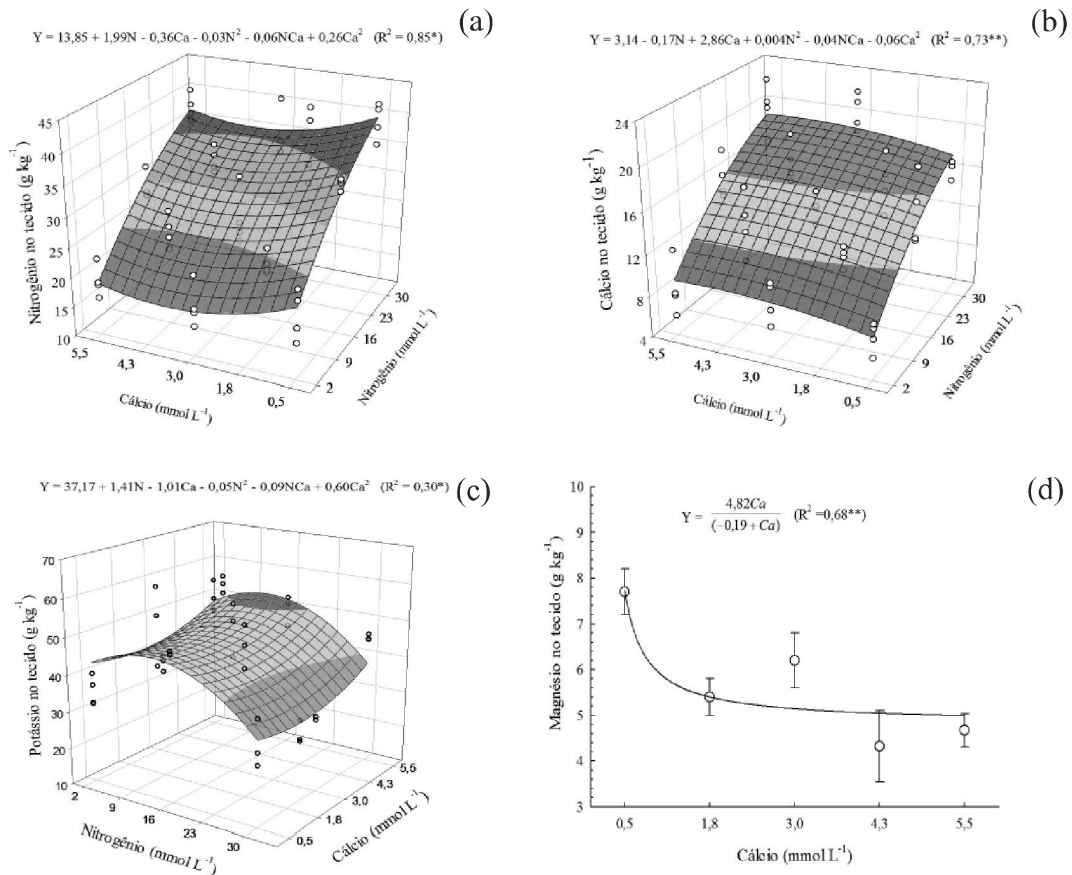
Fontes de variação	Variáveis-respostas							
	Valor F calculado							
	Teor N	Teor Ca	Teor K	Teor Mg	Teor S	SPAD	RNO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Dose N	83,7**	9,1**	3,6**	0,8 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	144,8**	66,3**	
Dose Ca	1,9 <sup>ns</sup>	36,2**	3,5*	7,7**	0,8 <sup>ns</sup>	6,8 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	
N x Ca	3,6**	6,5**	6,3**	1,1 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	
CV%	12,5	29,8	29,3	30,7	33,7	6,6	29,1	
	Valor F calculado							
	Área foliar	MS folhas	MS caule	MS raízes	Teor folhas N 126	Teor folhas Ca 126	Acum total N	Acum total Ca
Dose N	70,2**	69,0**	44,1**	13,4**	68,6**	1,1 <sup>ns</sup>	90,2**	79,7**
Dose Ca	11,3**	10,5**	5,8**	2,9*	4,1 <sup>ns</sup>	47,6**	2,6*	5,8**
N x Ca	12,1**	20,8**	10,1*	7,0*	0,5 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	7,1*	11,3**
CV%	19,7	20,4	19,4	35,8	11,7	15,2	22,6	24,2

<sup>ns</sup> Não significativo. \* e \*\* Significativo pelo teste F, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

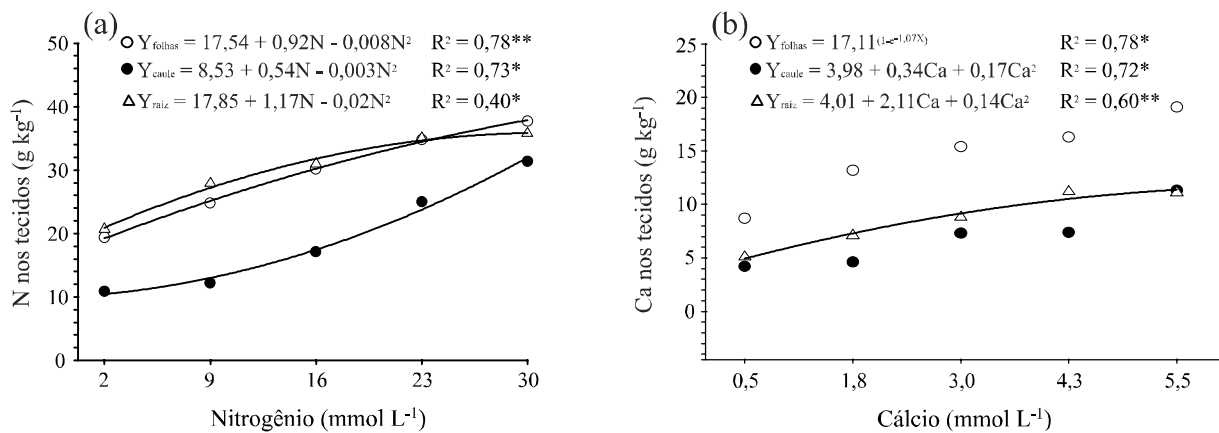
de 21 a 36 g kg<sup>-1</sup> e de 11 a 31 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, nas folhas, caules e raízes para as doses de N de 2 a 30 mmol L<sup>-1</sup> (Figura 3a). Para as concentrações de Ca, também observaram-se maiores valores nas folhas, seguidos

das raízes e menores nos caules. As concentrações nas folhas, raízes e caules variaram, respectivamente, de 9 a 19 g kg<sup>-1</sup>, de 5 a 11 g kg<sup>-1</sup> e de 4 a 11 g kg<sup>-1</sup>, para as doses de Ca de 0,5 a 5,5 mmol L<sup>-1</sup> (Figura 3b).

**Figura 2** - Concentrações de nitrogênio (a), de cálcio (b) e de potássio (c) nas folhas utilizadas para a diagnose foliar em pinhão-mansó, em função das combinações de N e de Ca na solução nutritiva; e concentração de magnésio (d), em função das doses de Ca na solução nutritiva, aos 56 dias após o início dos tratamentos



**Figura 3** - Concentrações de N e de Ca nas folhas (○), caule (●) e raízes (△) do pinhão-mansó, em função das doses de N (a) e de Ca (b) na solução nutritiva, aos 126 dias após o início dos tratamentos



Deve-se destacar que as concentrações de N nas folhas utilizadas para diagnose foliar aos 56 DAT apresentaram correlação significativa e positiva ( $Y = 9,2883 + 0,5780X$ ;  $r = 0,59^{**}$ ) com aquelas determinadas nas folhas aos 126 DAT, indicando que a diagnose foliar para N poderia ser efetuada antecipadamente. Por outro lado, este fenômeno não foi observado para o Ca. De modo geral, os teores de Ca observados nas folhas aos 126 DAT foram superiores àqueles determinados aos 56 DAT. Ou seja, considerando a elevada mobilidade de N no floema - redistribuição -, pode-se prever e monitorar somente os teores deste elemento nas folhas em expansão, em qualquer época do crescimento inicial, ou seja, no período vegetativo do pinhão-mansão.

### Valores SPAD e teste bioquímico da redutase do nitrato, aos 56 DAT

O teor de clorofila (índice SPAD) e a atividade da redutase do nitrato ( $\text{RNO}_3^-$ ) foram influenciados somente pelas doses de N na solução (Tabela 1, Figura 4a). O ponto de máximo teor de clorofila (valor SPAD de 48,6) foi obtido com o suprimento de N de  $26,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , enquanto que a máxima atividade da  $\text{RNO}_3^-$  foi verificada com a dose de N de  $27,0 \text{ mmol L}^{-1}$ , confirmando a possibilidade de uso destas “ferramentas” como métodos auxiliares e rápidos para o monitoramento da avaliação do estado nutricional em N (LAVRES JUNIOR *et al.*, 2005; RAJAONA; BRUECK; ASCH, 2013; YONG *et al.*, 2010). Adicionalmente, foi observada correlação positiva e significativa entre os valores SPAD, a atividade da  $\text{RNO}_3^-$  e a produção de massa seca total (126

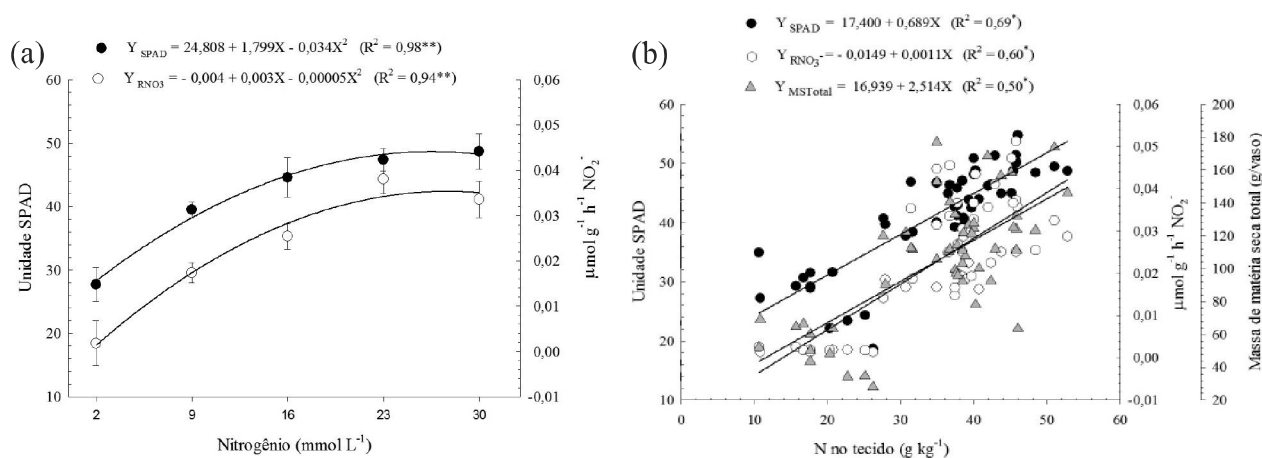
DAT) com as concentrações de N nas folhas utilizadas para a diagnose, aos 56 DAT (Figura 4b). Substituindo o máximo valor SPAD obtido da equação da Figura 4a na equação da Figura 4b, foi possível calcular o teor de N de  $45,3 \text{ g kg}^{-1}$ . Já o teor de N associado à máxima atividade da  $\text{RNO}_3^-$  foi de  $43,5 \text{ g kg}^{-1}$ , sugerindo uma faixa ideal de concentração de N nas folhas utilizadas para diagnose de 43 a  $45 \text{ g kg}^{-1}$ , associada à maior produção de biomassa das plantas (Figura 4b).

### Área foliar, produção de biomassa e acúmulos de N e Ca

A área foliar total do pinhão-mansão variou segundo modelo de equação de regressão polinomial com as combinações das doses de N e Ca (Figura 5a). A área foliar das plantas incrementou cerca de 400% com o fornecimento das maiores doses de N e Ca, em relação às menores doses dose de N ( $2 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e de Ca ( $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ). Por outro lado, a menor área foliar total foi observada nas plantas do tratamento com a menor dose de N combinada com a maior de Ca, evidenciando a importância da quantidade fornecida e do equilíbrio entre as doses de ambos os nutrientes na solução nutritiva. Evidencia-se também que a maior disponibilidade de N resultou em maior intensidade de verde das folhas (índice SPAD), podendo-se inferir que houve maior eficiência na captação de energia luminosa (fotossíntese) e, por sua vez, no rendimento de biomassa (figuras 5b; 5c e 5d).

Tem sido relatado que o N e Ca são os nutrientes que mais influenciam significativamente as características anatômicas e fisiológicas de folhas, em função da

**Figura 4** - Teor de clorofila (valores SPAD) [●] e atividade da redutase do nitrato [○] determinadas nas folhas utilizadas para a diagnose foliar no pinhão-mansão aos 56 dias após o início dos tratamentos (56 DAT), em função das doses de N na solução nutritiva (a). Relações entre o teor de clorofila [●], atividade da redutase do nitrato [○] e a produção de massa seca total [▲], em função das concentrações de N nas folhas utilizadas para a diagnose foliar aos 126 DAT (b)



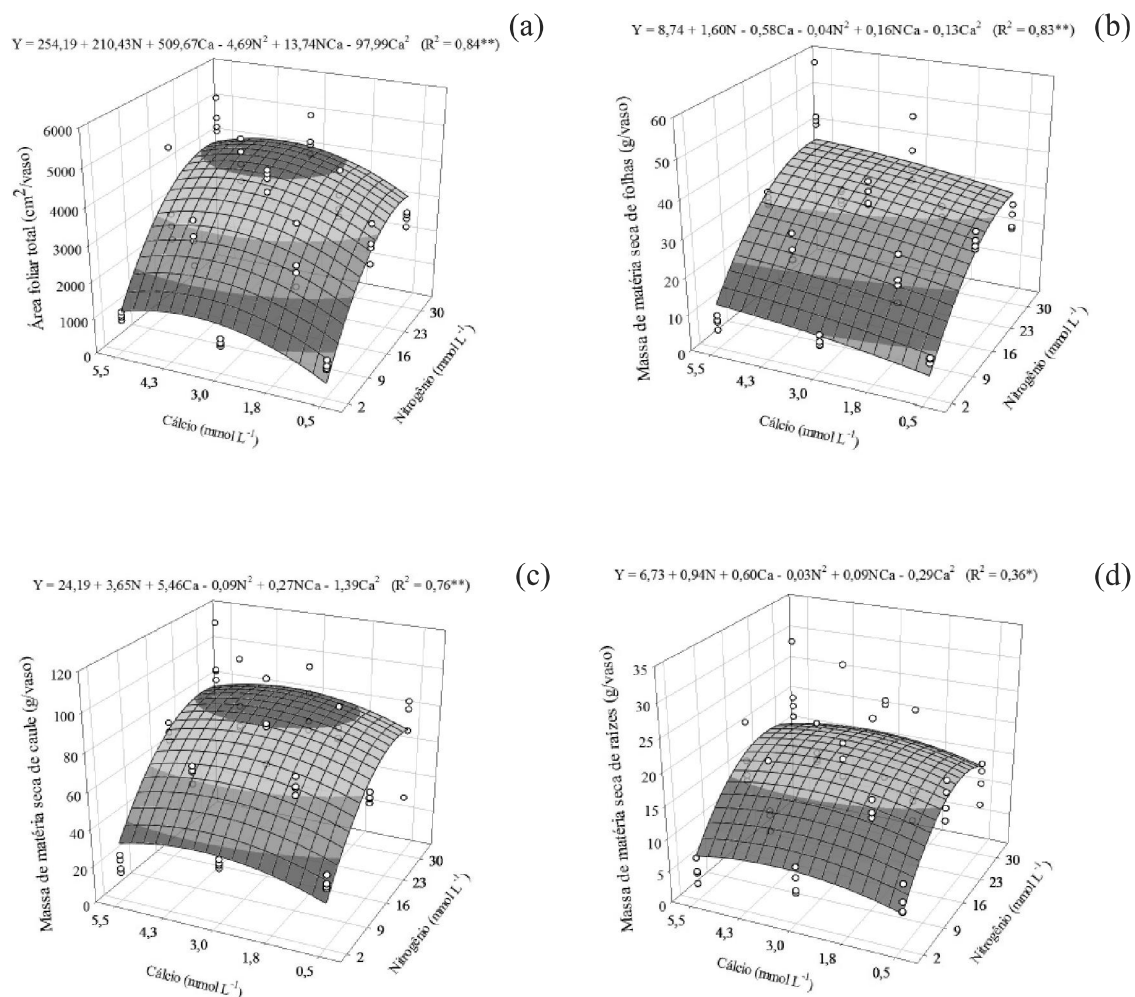
variação na utilização e alocação destes nutrientes no floema (SUÁREZ, 2010). Enquanto o N é altamente redistribuído de um tecido mais maduro para outro mais jovem, o Ca é absorvido e permanece alocado nos órgãos de residência e, por isso, tem sido considerado elemento com baixíssima mobilidade no floema (MARSCHNER, 2012). Assim, plantas que crescem sob baixo suprimento de Ca, apresentam folhas pequenas e com tamanho final reduzido (SUÁREZ, 2010).

Observou-se interação entre as doses de N e Ca para a produção de massa seca de folhas, de caule e de raízes (Figuras 5b, 5c e 5d). As máximas produções de massa seca de folhas, de caule e de raízes foram obtidas com o fornecimento das doses de N e Ca de 30 e 5,5 mmol L<sup>-1</sup>, correspondendo a incrementos no rendimento de biomassa de 245%, de 152% e de 388%,

respectivamente, em relação aos obtidos com a menor dose de N e de Ca. As reduções mais acentuadas para os valores de área foliar, de massa seca de folhas, de caule e de raízes foram constatadas quando houve maior desequilíbrio entre o fornecimento de N e da Ca, ou seja, quando as plantas foram supridas com a menor dose de N e maior dose de Ca (Figura 5).

Derivando-se as equações polinomiais de regressão foi possível calcular que as máximas produções de massa seca de caule e de raízes seriam obtidas com os suprimentos de N e de Ca de 28,6 e 4,8 mmol L<sup>-1</sup> e de 25,0 e 4,9 mmol L<sup>-1</sup>, respectivamente, mantendo uma relação N:Ca na solução nutritiva de, aproximadamente, 6:1 e de 5:1. Estas concentrações de N e de Ca na solução nutritiva estão muito próximas daquelas verificadas

**Figura 5** - Área foliar total (a), massa seca de folhas (b), de caule (c) e de raízes (d) do pinhão-mansô, em função das combinações de N e de Ca na solução nutritiva, aos 126 dias após o início dos tratamentos



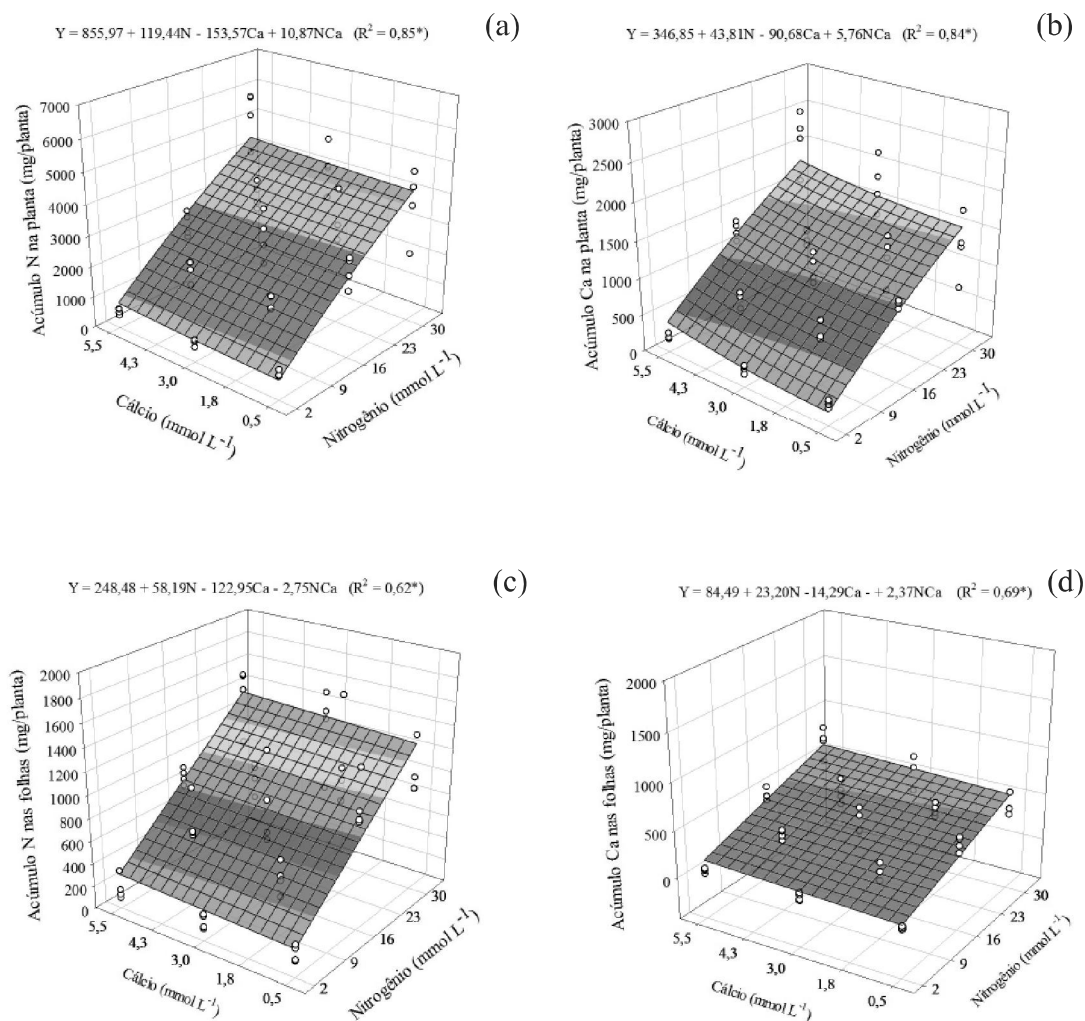
para a obtenção da máxima área foliar, que foram de 29 e 4,7 mmol L<sup>-1</sup>, respectivamente, correspondendo à relação N:Ca na solução de 6:1 (Figura 5a).

As maiores quantidades absorvidas de N e de Ca pelas plantas foram verificadas no tratamento com combinação das maiores doses de N e de Ca, correspondendo aos valores de 4.826,98 mg de N/planta e de 2.036,94 mg de Ca/planta (Figuras 6a e 6b), resultando numa relação N:Ca de 2,4:1. Estes acúmulos foram 942% e 830% superiores em relação àqueles observados para o tratamento com as doses de N e Ca de 2,0 mmol L<sup>-1</sup> e 5,5 mmol L<sup>-1</sup>, respectivamente, realçando, de um lado, a importância do N como nutriente de maior impacto na produção de biomassa e, de outro, a necessidade das quantidades fornecidas

em proporções adequadas. Em média, as quantidades de N e Ca acumuladas nas folhas corresponderam a 29% e 39% do total de N e Ca acumulados nas plantas (Figuras 6c e 6d). Por sua vez, a quantidade média de N nas folhas foi 56% superior em relação à quantidade média de Ca acumulada nestes tecidos (Figura 6c e 6d).

Portanto, avaliando-se o conjunto de variáveis-respostas consideradas neste estudo, confirmou-se que o N exerce maior impacto no desenvolvimento e na produção de biomassa das plantas de *J. curcas* (SILVA *et al.*, 2009; YONG *et al.*, 2010), e que deverá haver maior atenção ao Ca, como nutriente modulador das respostas produtivas nesta espécie, quando há aumento na diponibilidade de N.

**Figura 6** - Acúmulo de nitrogênio na planta (a) e nas folhas (c), e acúmulo de cálcio na planta (b) e nas folhas (d) do pinhão-mansó, em função das combinações de N e de Ca na solução nutritiva, aos 126 dias após o início dos tratamentos (DAT)





## CONCLUSÕES

1. As manifestações visuais de deficiência de N apareceram antecipadamente àquelas manifestadas pela carência de Ca. A deficiência de Ca é agravada com o aumento da disponibilidade de N para as plantas;
2. Os valores SPAD e da atividade da redutase do nitrato ( $\text{RNO}_3^-$ ) são influenciados pelo suprimento de N e guardam relação direta e significativa com as concentrações de N nas folhas utilizadas para a diagnose e com a produção de biomassa da planta;
3. O nitrogênio promove maior impacto no rendimento de biomassa e no crescimento vegetativo em relação ao Ca, todavia, os efeitos são mais expressivos com o aumento da absorção de Ca.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Ref. Proc. 2010/12411-7) e ao CNPq-PIBIC (Ref. Proc. 137912/2010-2) pelas bolsas de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

- ARRUDA, F. P. *et al.* Cultivo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.
- BEHERA, S. K. *et al.* 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.
- CHAUDHARY, D. R. *et al.* Soil characteristics and mineral nutrient in wild *Jatropha* population of India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 9/10, p. 1476-1485, 2008.
- CHAVES, L. H. G. *et al.* Zinco e cobre em pinhão manso. II. Teores dos elementos em folhas e caule. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 100-106, 2009.
- HERMANS, C. *et al.* How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 12, p. 610-617, 2006.
- KUMAR, A.; SHARMA, S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 1, p. 1-10, 2008.
- 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.

LAVRES JUNIOR, J. *et al.* Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 145-151, 2005.

LITTELL, R. C.; MOTT, G. O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Proceedings - Soil & Crop Science Society of Florida**, v. 34, n. 1, p. 94-97, 1975.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997, 319 p.

MARSCHNER, P. **Marchner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London, Waltham, San Diego: Academic Press, 2012. 651 p.

MIGUEL, A. *et al.* Short-term effects of reclaimed water irrigation: *Jatropha curcas* L. cultivation. **Ecological Engineering**, v. 50, n. 1, p. 44-51, 2013.

MINOLTA CAMERA Co. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka, 1989. 22 p.

MULDER, E. G.; BOXMA, R.; VAN VENN, W. L. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissue. **Plant and Soil**, v. 10, p. 335-355, 1959.

PORTELA, E. M. A. C.; LOUZADA, J. L. P. Early diagnosis of boron deficiency in chestnut. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 2, p. 304-310, 2012.

RAJAONA, A. M.; BRUECK, H.; ASCH, F. Leaf gas exchange characteristics of *Jatropha* as affected by nitrogen supply, leaf age and atmospheric vapour pressure deficit. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, n. 2, p. 144-153, 2013.

SANTOS, E. F. *et al.* Photosynthesis rate, chlorophyll content and initial development of physic nut without micronutrient fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1334-1342, 2013.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, v. 1, p. 231-233, 1975.

SILVA, E. B. *et al.* Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009.

SILVEIRA, C. P.; MONTEIRO, F. A. Influência da adubação com nitrogênio e cálcio nas características morfológicas e produtivas das raízes de capim-tanzânia cultivado em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 47-52, 2011.

SOUZA, P. T. *et al.* NPK fertilization on initial growth of physic nut seedlings in Quartzarenic Neossol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 559-566, 2011.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS user's guide**, Version 8. Cary, NC: SAS Institute, 2000.

SUÁREZ, N. Leaf lifetime photosynthetic rate and leaf demography in whole plants of *Ipomoea pes-caprae* growing with a low supply of calcium, a 'non-mobile' nutrient. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 3, p. 843–855, 2010.

VIETS, F. G. Calcium and other polyvalent cations as accelerators of ion accumulation by excised barley roots. **Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 466-480, 1944.

XU, G.; WANG, R. Sulfur and boron-magnesium-zinc compound fertilizer contribute to the reproductive growth of *Jatropha curcas* (L.). **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 12, p. 1843-1852, 2011.

YONG, J. W. H. *et al.* Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. **Photosynthetica**, v. 48, p. 208-218, 2010.