

## Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno

Arnon Afonso de Souza Cardoso<sup>1</sup>, José Zilton Lopes Santos<sup>2\*</sup>, Carlos Alberto Franco Tucci<sup>2</sup>, Elias Paiva Farias<sup>2</sup>, Rodolfo Pessoa de Melo Moura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Av. Pádua Dias, 11, Cx. Postal 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias, Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Planalto, CEP 69077-000, Manaus, AM, Brasil

\*Autor correspondente:  
ziltonlopes@ufam.edu.br

### Termos para indexação:

*Swietenia macrophylla*  
Adubação fosfatada  
Calagem

### Index terms:

*Swietenia macrophylla*  
Phosphate fertilization  
Liming.

**Resumo** - A adubação fosfatada para espécies perenes nativas necessita de estudos, tanto em condições de campo, como na fase de mudas. No presente estudo, objetivou-se avaliar a interação entre calagem e níveis de fósforo no crescimento inicial e o acúmulo de nutrientes do mogno (*Swietenia macrophylla* King.), cultivado num Latossolo Amarelo Distrófico típico em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de seis doses de P (11; 22; 44; 66; 88 e 110 mg dm<sup>-3</sup>), além do tratamento controle (sem a aplicação de P), combinadas com a aplicação de 500 mg dm<sup>-3</sup> de calcário ou sem a adição do corretivo. A adição de doses crescentes de P com aplicação de calcário favoreceram o crescimento inicial e o acúmulo de nutrientes em mudas de mogno, todavia, sem apresentar interações entre si. A máxima eficiência econômica para a produção de matéria seca foi alcançada com a aplicação de 41,6 mg dm<sup>-3</sup> de P, associada com adição 500 mg dm<sup>-3</sup> de calcário dolomítico.

### Histórico do artigo:

Recebido em 27/02/2014  
Aprovado em 26/03/2015  
Publicado em 31/03/2015

## Influence of soil acidity and phosphorus in early growth of mahogany

doi: 10.4336/2015.pfb.35.81.667

**Abstract:** Phosphate fertilization for native perennial species need studies in field conditions and seedling production. This study aimed to evaluate the effect of interaction between phosphorus and lime levels on growth and nutrients content of mahogany (*Swietenia macrophylla* King.), cultivated on a Yellow Latosol Dystrophic typic, in greenhouse. The experimental design was completely randomized factorial, with three replications. The treatments consisted of six doses of P (11; 22; 44; 66; 88 and 110 mg dm<sup>-3</sup>) and control treatment (without P fertilization), combined with 500 mg dm<sup>-3</sup> of limestone or without limestone addition. The addition of increasing doses of P with lime provided increase on early growth and nutrient contents in seedlings of mahogany, however, without interactions. The maximum economic yield for dry matter production was obtained with 41.6 mg dm<sup>-3</sup> of P, associated with additional 500 mg dm<sup>-3</sup> of limestone.

## Introdução

Os Argissolos Vermelhos-Amarelos distróficos e Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos correspondem a cerca de 90% dos solos de terra firme da Amazônia brasileira (Lepsch, 2002). São solos com deficiência generalizada de nutrientes, apresentando elevada acidez, com pH geralmente em torno de 4,5, baixa saturação por bases e elevados níveis de alumínio (Falcão & Silva, 2004). Nesses solos, a disponibilidade de fósforo é geralmente baixa, situando-se abaixo de  $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$  (Brasil & Muraoka, 1997). Torna-se necessária a adição desse nutriente, tendo em vista que a deficiência de P é uma das mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Taiz & Zeiger, 2010), pois este participa de processos e metabólitos celulares nas plantas, como constituintes de enzimas e da adenosina trifosfato (ATP) (Kimani & Derera, 2009).

Devido ao intenso intemperismo que esses solos são submetidos, estes apresentam, além da baixa disponibilidade de P, uma elevada proporção de cargas positivas em função da mineralogia predominante, como caulinita, óxidos de ferro e alumínio (Lehmann et al., 2001). Essa característica oxidica reduz a eficiência da adubação fosfatada, uma vez que as formas de P absorvíveis pelas plantas ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) ligam-se a esses minerais, formando compostos estáveis de baixa reatividade (Fernández R. et al., 2008). Além disso, há precipitação do fosfato com o alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) na solução do solo (Rolim Neto et al., 2004), que também diminui a disponibilidade do P fornecido. Conseqüentemente, apenas 10 a 20% deste nutriente fornecido são utilizados pelas culturas no ano de aplicação, e o valor residual raramente excede 50% (Bolland & Gilkes, 1998). Nesse contexto, são necessárias estratégias para o aumento da eficiência da adubação fosfatada, principalmente pelo fato deste constituir um recurso natural limitado e não renovável.

Dentre as práticas mais utilizadas, destaca-se a aplicação de corretivos de acidez do solo, com a elevação do pH, tornando-o mais eletronegativo e diminuindo assim a adsorção do P. A calagem também diminui a precipitação do P com o alumínio trocável, pois os grupos hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) liberados complexam o  $\text{Al}^{3+}$ . Além disso, a calagem fornece cálcio e magnésio, elementos essenciais às plantas, diminuindo a toxidez

causada por manganês e aumenta a disponibilidade dos demais nutrientes, exceto os micronutrientes catiônicos (Sousa et al., 2007). Apesar destes efeitos benéficos, a quantidade deste corretivo é dependente do tipo de solo, da qualidade do material, dos custos, e das exigências das espécies ou mesmo das cultivares (Fageria & Baligar, 2008). No caso do mogno (*Swietenia macrophylla* King.), espécie pertencente à família Meliaceae com madeira de alto valor comercial, Silva et al. (2007) sugerem que uma baixa dose de calcário dolomítico ( $500 \text{ mg dm}^{-3}$ ) é suficiente para a correção da acidez do substrato para a formação de mudas dessa espécie. Porém, neste trabalho não foi determinada a magnitude do efeito da correção da acidez sobre o aumento da disponibilidade do P aplicado.

Por outro lado, alguns critérios devem ser estabelecidos para a adoção da adubação fosfatada do mogno, entre os quais estão aqueles inerentes à dose de P mais adequadas para a cultura. Apesar de Viégas et al. (2012) relatarem que o mogno apresenta acentuada redução no crescimento inicial mediante a ausência do fornecimento de P, os estudos não determinam a dose ótima deste nutriente, bem como o efeito da correção da acidez do solo para a formação das mudas dessa espécie. Além disso, os resultados dos estudos sobre a reposta das mudas de mogno à adubação fosfatada e à calagem são contrastantes (Silva et al., 2007; Tucci et al., 2007; Santos et al., 2008; Souza et al., 2010; Silva et al., 2011), indicando a necessidade de mais estudos. Portanto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da interação entre calagem e níveis de P no crescimento inicial e acúmulo de nutrientes do mogno.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se amostra de um Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa (20-40 cm), coletado no município de Manaus, AM e localizado nas coordenadas geográficas  $3^{\circ}6'13.01'' \text{ S}$  e  $59^{\circ}58'34.07'' \text{ W}$ , sob vegetação de floresta secundária, apresentando as características físicas e químicas descritas na Tabela 1. O alto teor de argila (40%) e os baixos teores de P disponível ( $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e P remanescente ( $30,0 \text{ mg L}^{-1}$ ), indicam muito baixa disponibilidade de P e potencial médio de adsorção deste nutriente no solo.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do Latossolo Amarelo Distrófico típico utilizado no experimento.

pH <sup>a</sup>	P <sup>b</sup>	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H + Al	P-rem <sup>c</sup>
3,8	----- mg dm <sup>-3</sup> -----		-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			- mg L <sup>-1</sup> -
	1,0	8,0	0,1	0,1	1,4	8,0	30,0
Cu	Fe	Mn	Zn	MO <sup>d</sup>	Argila	Silte	Areia
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			- dag kg <sup>-1</sup> -	-----	dag kg <sup>-1</sup> -----	
0,2	220,3	0,2	0,1	1,2	40,0	30,0	30,0

a = pH em água, relação 1:2,5. b = Extrator Mehlich 1. c = fósforo remanescente. d = matéria orgânica.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de seis doses de P (11; 22; 44; 66; 88 e 110 mg dm<sup>-3</sup> de P), utilizando-se como fonte o ácido fosfórico p.a (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), além do tratamento controle (sem a adição de P), e duas condições de acidez do solo (ausência ou presença de calcário, na dose de 500 mg dm<sup>-3</sup>). Nos tratamentos que receberam calcário, este foi fornecido na seguinte forma: carbonato de cálcio p.a (CaCO<sub>3</sub>) e carbonato de magnésio p.a (MgCO<sub>3</sub> 5H<sub>2</sub>O), com relação Ca: Mg de 4:1 e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 100%.

Nos tratamentos sem calagem (0 mg dm<sup>-3</sup> de calcário), o Ca e o Mg foram aplicados nas formas de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) e cloreto de magnésio p.a (MgCl<sub>2</sub>), respectivamente, em doses que proporcionaram concentrações equivalentes destes nutrientes no solo (140 mg dm<sup>-3</sup> de Ca e 22 mg dm<sup>-3</sup> de Mg), em relação àquelas obtidas na aplicação de 500 mg dm<sup>-3</sup> de calcário. Após a aplicação do corretivo, ambos os solos com e sem calagem foram incubados por um período de 30 dias. Após o período de incubação, foi feita a aplicação das diferentes doses de P, além da adubação básica descrita na Tabela 2. Posteriormente à aplicação dos tratamentos e da adubação básica, o solo foi novamente incubado por 20 dias.

**Tabela 2.** Adubação básica realizada após o período de incubação com calcário.

Nutriente	Fonte	Forma de aplicação	Dose (mg dm <sup>-3</sup> )
N	NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub>	Solução	100
K	KCl	Solução	100
S	S <sup>0</sup>	Pó	40
B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Solução	1
Cu	CuCl <sub>2</sub>	Solução	1,5
Fe	FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Solução	5
Mn	MnCl <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	Solução	5
Mo	H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	Solução	0,15
Zn	ZnCl <sub>2</sub>	Solução	5

As mudas de mogno foram obtidas via seminal, germinadas em recipientes de polipropileno com capacidade de 0,5 dm<sup>3</sup>, utilizando-se como substrato areia lavada e autoclavada. Aos 30 dias após a semeadura, plântulas com duas folhas completamente desenvolvidas foram repicadas individualmente para vasos do tipo citropote com 3,3 dm<sup>3</sup> de solo, contendo os tratamentos. Foram feitas duas adubações de cobertura com N e K, fornecendo 100 mg dm<sup>-3</sup> desses nutrientes, aos 30 e 60 dias após o transplântio. Durante os períodos de incubação e condução do experimento, a umidade do solo foi mantida em 60% do volume total de poros, por meio de pesagens diárias dos vasos e adição de água deionizada.

Aos 90 dias após o transplântio, foram avaliados a altura e diâmetro do colo das plantas. Em seguida, as plantas foram colhidas, separando-se as raízes da parte aérea (folhas + caule) e colocando ambos para secagem a 65 °C em estufa com circulação forçada de ar, até alcançarem massa constante (72 h). Após a secagem, foram determinadas a matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca total (MST) e relação matéria seca da parte aérea/matéria seca da raiz (RPAR). A MSPA foi triturada em moinho do tipo Willey e submetida à análise química para determinação dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu e Mn. O preparo do extrato e a determinação analítica dos nutrientes foram realizados conforme Silva (2009). Com base nos teores dos nutrientes e na produção de matéria seca da parte aérea, foi calculado o acúmulo dos nutrientes na parte aérea das plantas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de médias (Tukey, 5%). Foram ajustadas equações de regressão para as variáveis analisadas como dependentes das doses de P. A dose para máxima eficiência física foi obtida derivando-se a equação ajustada para a MST em função das doses de P, e a dose para máxima eficiência econômica foi estimada considerando-se 90% da produção da máxima eficiência física. O nível crítico de P nas plantas foi calculado a

partir do teor de P foliar na dose de P correspondente à máxima eficiência econômica.

## Resultados e discussão

### Acúmulo de nutrientes

Não houve interação significativa entre os fatores doses de P e fornecimento de calcário sobre o acúmulo de nutrientes na parte aérea das mudas de mogno ( $P > 0,05$ ), no entanto, houveram efeitos isolados de ambos os fatores ( $P < 0,01$ ). Em relação ao efeito do calcário na absorção de nutrientes, maiores acúmulos destes foram observados nas plantas cultivadas em solo corrigido, exceto no caso do N, que não foi influenciado pela correção da acidez (Tabela 3).

O efeito positivo da aplicação do calcário no acúmulo de nutrientes evidencia o efeito benéfico da correção da

acidez na absorção destes, que se deve provavelmente à diminuição da adsorção dos íons fosfato fornecidos, fenômeno que ocorre devido à forte afinidade existente entre estes íons e os minerais predominantes na fração argila deste solo, como caulinita e óxidos de Fe e Al, notadamente em baixos valores de pH (Novais & Smyth, 1999). Com o aumento do pH proporcionado pela calagem, há uma redução na adsorção do fosfato, aumentando a sua disponibilidade para as plantas, efeito que possivelmente favoreceu o acúmulo de P nas mudas, proporcionando assim maior suprimento de P, o qual pode ter favorecido a absorção dos demais nutrientes. Segundo Taiz & Zeiger (2010), isso ocorre devido ao efeito sinérgico do P sobre a absorção dos demais nutrientes, em função de sua participação na molécula de ATP, necessária para o processo de absorção ativa de nutrientes.

**Tabela 3.** Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.), em função do fornecimento de calcário, após 90 dias de cultivo em casa de vegetação.

Calcário - mg dm <sup>-3</sup> -	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
0,0	47,87 A	1,09 B	46,69 B	21,84 B	3,24 B	0,011 B	0,32 B	0,08 B	0,051 B
500	50,97 A	1,20 A	50,95 A	30,24 A	4,04 A	0,013 A	0,39 A	0,11 A	0,060 A
DMS <sup>1</sup>	9,9	0,1	4,0	2,30	0,4	0,0018	0,06	0,02	0,008
CV (%) <sup>2</sup>	12	14	13	14	18	14	12	12	14

1 = Diferença mínima significativa. 2 = Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Silva et al. (2007) também observaram incremento no acúmulo dos nutrientes investigados no presente trabalho em mudas de mogno, cultivadas em Latossolo Amarelo Distrófico típico em casa de vegetação, mediante o fornecimento de doses crescentes de calcário dolomítico, exceto no caso do Zn. De forma semelhante, Tucci et al. (2007) observaram aumento no acúmulo de N, P, K, Ca e Mg em mudas da mesma espécie cultivadas nas mesmas condições do trabalho anterior quando adotada a prática da calagem, associada à fosfatagem corretiva e aplicação de adubo NPK. Entretanto, Souza et al. (2010) observaram efeito positivo da calagem apenas no acúmulo de N, Ca, Mg, S e Zn em mudas dessa espécie, enquanto que Silva et al. (2011) estudando o efeito de fontes de P e aplicação de calcário dolomítico em mudas da mesma espécie, encontraram aumento somente na absorção de Mg e S. Assim, talvez a dose de calcário aplicada no trabalho de Souza et al. (2010) (250 mg kg<sup>-1</sup> de calcário dolomítico) tenha sido insuficiente, limitando a resposta dos acúmulos que não foram influenciados pela calagem. Entretanto, Silva et

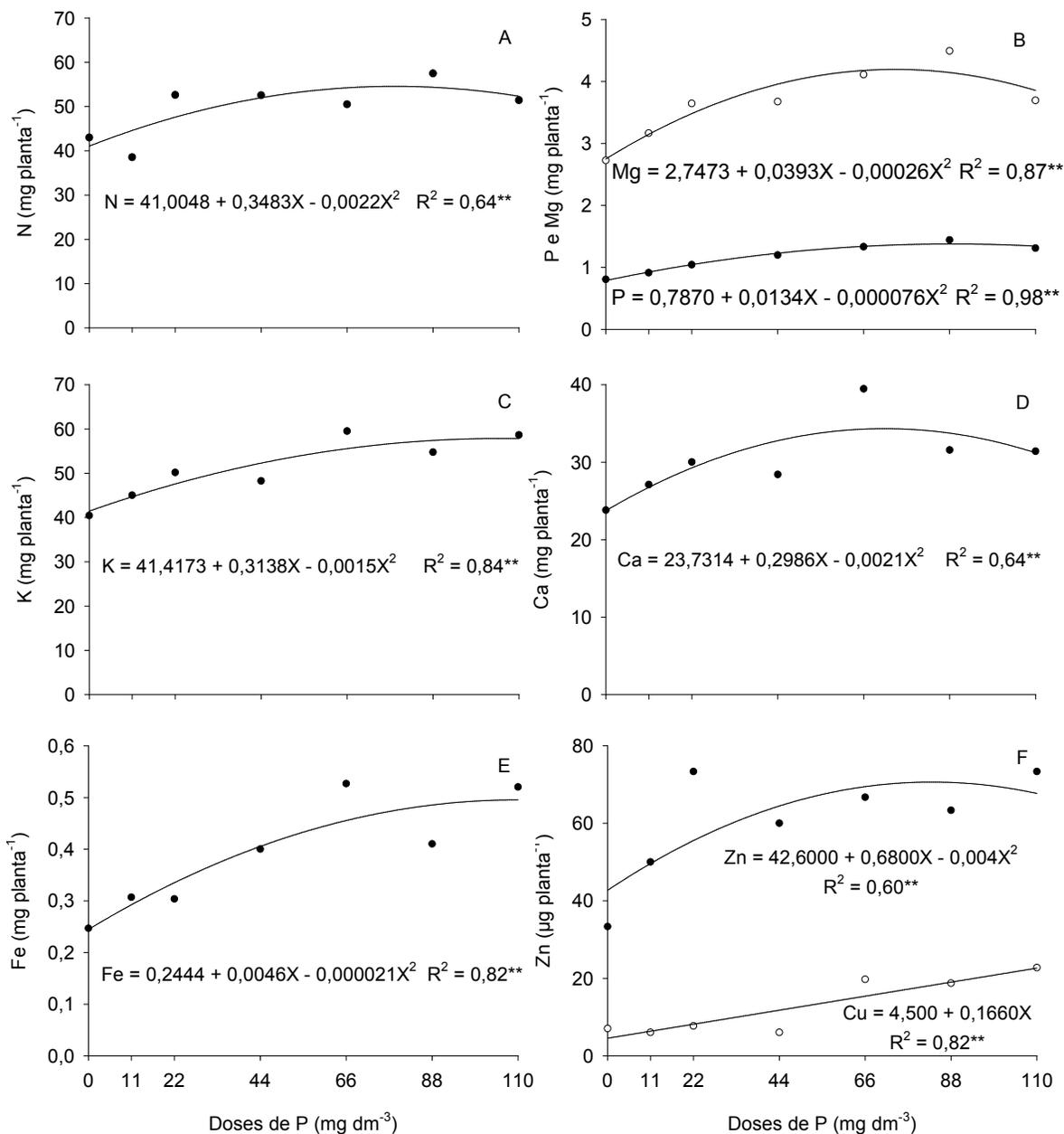
al. (2011) aplicou a mesma dose de calcário utilizada neste estudo (500 mg dm<sup>-3</sup> de calcário dolomítico).

Tais resultados contrastantes indicam a necessidade de mais estudos acerca da influência da calagem na absorção de nutrientes em mudas de mogno, considerando que todos estes estudos foram conduzidos nas mesmas condições de solo (Latossolo Amarelo distrófico típico) e ambiente (casa de vegetação).

De modo geral, ainda não existe consenso sobre a necessidade da calagem para o cultivo de espécies florestais, nem mesmo para o eucalipto, cultura florestal de elevada importância econômica e ambiental (Gabriel et al., 2013). Essa falta de consenso decorre da baixa sensibilidade do eucalipto a altos teores de alumínio trocável e baixos teores de cálcio e magnésio no solo, sugerindo não haver necessidade da prática da calagem. Todavia, existe a necessidade de repor o cálcio e magnésio extraídos pelas plantas, visando evitar o esgotamento do solo, o qual afetaria negativamente o cultivo em longo prazo, sugerindo a necessidade da aplicação de calcário para a reposição desses nutrientes (Barros & Novais, 1999).

Quanto ao efeito do fornecimento de doses crescentes de P, houve efeito positivo no acúmulo de todos os nutrientes em ambas as condições de acidez do solo. Estes acúmulos apresentaram comportamento

quadrático mediante as doses de P, exceto Cu e Mn, que apresentaram resposta linear e ausência de ajuste de modelo, respectivamente (Figura 1).



**Figura 1.** Acúmulo de A) nitrogênio, B) fósforo e magnésio, C) potássio, D) cálcio, E) ferro, F) zinco e F) cobre na parte aérea de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.), em função do fornecimento de doses crescentes de fósforo, após 90 dias de cultivo em casa de vegetação.

De forma geral, os acúmulos de nutrientes que apresentaram comportamento quadrático proporcionaram maior incremento até aproximadamente a aplicação da dose 88 mg dm<sup>-3</sup> de P, tendendo a estabilizar apenas na maior dose.

O aumento do acúmulo de P nas plantas neste trabalho, mediante o fornecimento de níveis crescentes desse nutriente possivelmente está relacionado à sua baixa disponibilidade natural no solo estudado (1 mg dm<sup>-3</sup> de P) e também à necessidade da espécie (Viégas et al., 2012). O nível crítico de P na planta foi de 0,33 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, que corresponde à aplicação de aproximadamente 33,5 mg de P por dm<sup>3</sup> de solo. Santos et al. (2008) também observaram aumento no acúmulo de P em mudas de mogno cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico, textura muito argilosa, em condições de casa de vegetação, em função do fornecimento de doses crescentes de P no solo próximas àquelas testadas no presente estudo, utilizando como fonte o superfosfato simples, durante o mesmo período de condução. Entretanto, esses autores encontraram uma tendência de reposta linear, enquanto que no presente trabalho foi observada uma tendência quadrática no acúmulo de P. Tal comportamento indica que a espécie é pouco exigente quanto ao teor de P no solo, pois uma dose baixa do nutriente (33,5 mg dm<sup>-3</sup> de P) possibilitou que a planta atingisse o nível crítico de P no tecido foliar.

Efeitos positivos no acúmulo de nutrientes em função do fornecimento de P em espécies florestais clímax também foram encontrados por Fernandes et al. (2007), estudando mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber), cultivadas em Latossolo Vermelho Escuro distrófico, textura argilosa, em casa de vegetação por 360 dias, e por Santos et al. (2008) em mudas de mogno, cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico, textura muito argilosa, em casa de vegetação por 90 dias. Todavia, o comportamento observado naqueles estudos para a maior parte dos nutrientes foi linear, apesar da diferença entre seus períodos de condução, enquanto que

no presente trabalho, o comportamento predominante foi o quadrático, indicando que nas maiores doses de P houve a superação da capacidade metabólica para a absorção dos nutrientes que apresentaram esta tendência de resposta.

Por outro lado, alguns trabalhos têm demonstrado efeito antagônico entre a absorção P e alguns micronutrientes, como Fe e Zn, em espécies da mesma família e grupo sucessional do mogno. Paiva et al. (2003) constataram diminuição do acúmulo de P em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), cultivadas em solução nutritiva, mediante o fornecimento de doses de zinco. De forma semelhante, Neves et al. (2004) trabalhando com mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), cultivadas em Neossolo Flúvico em casa de vegetação, observaram diminuição na absorção de Zn e Fe em resposta à aplicação de doses crescentes de P no solo, havendo sintomas visuais de deficiência daqueles micronutrientes nas doses mais elevadas de P (300 e 450 mg dm<sup>-3</sup>).

Entretanto, no presente trabalho não foi observada a diminuição da absorção desses micronutrientes em resposta à elevação do teor de P no solo, indicando que as doses de P testadas não constituem em fator limitante à absorção de Fe e Zn pelo mogno, considerando que a dose mais elevada constituiu na aplicação de 110 mg dm<sup>-3</sup> de P, abaixo das doses de P que apresentaram sintomas de deficiência de Fe e Zn no trabalho de Neves et al. (2004).

#### *Crescimento das plantas*

De modo semelhante ao observado para acúmulo de nutrientes, não houve interação significativa dos níveis de P e fornecimento de calcário sobre as variáveis de crescimento do mogno. Porém, houve efeito isolado e significativo dos fatores. Em relação à resposta das variáveis de crescimento ao fornecimento do calcário, observa-se que os maiores valores foram verificados na presença de calcário, exceto para a altura e RPAR (Tabela 4).

**Tabela 4.** Altura, diâmetro do colo, matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR) e relação parte aérea/raiz (RPAR) das mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.), em função do fornecimento de calcário, após 90 dias de cultivo em casa de vegetação.

Calcário - mg dm <sup>-3</sup> -	Altura	Diâmetro	MSPA	MSR	RPAR
	--- cm ---	--- mm ---	----- g -----		
0,0	22,87 A	4,69 B	3,06 B	1,04 B	2,97 A
500	23,81 A	5,17 A	3,55 A	1,19 A	3,00 A
DMS	1,24	0,23	0,25	0,13	0,25
CV (%)	8	8	12	25	13

DMS = Diferença mínima significativa. CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

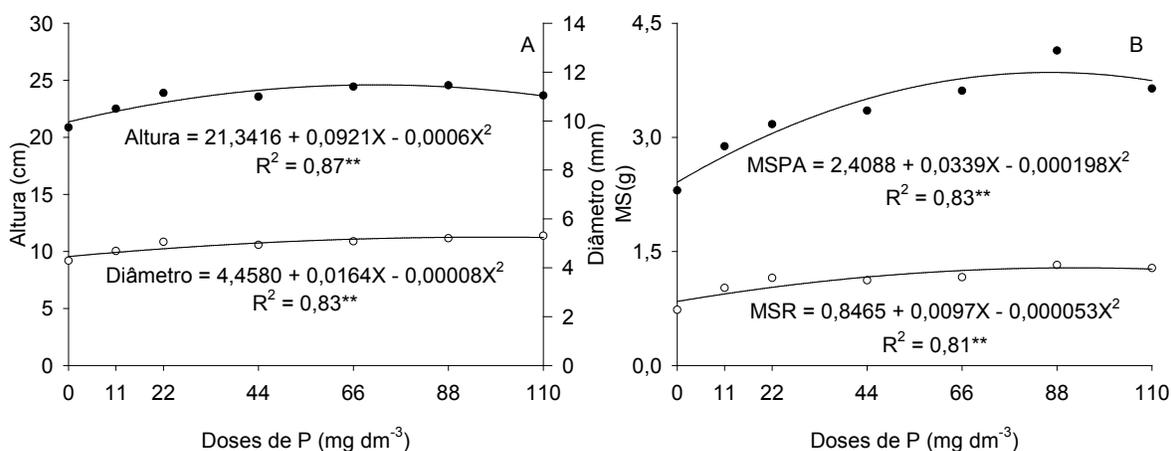
O efeito positivo do fornecimento de corretivo no crescimento das mudas de mogno deve-se provavelmente à diminuição da toxidez do  $Al^{3+}$ , o qual teve sua concentração diminuída de  $1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , teor considerado alto, para  $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , concentração classificada como muito baixa e adequada para o cultivo das culturas em geral (Alvarez V. et al., 1999). A toxidez do  $Al^{3+}$  é provavelmente o fator mais limitante ao crescimento e produção vegetal nos solos ácidos, pois este elemento pode inibir a divisão celular, diminuindo o índice mitótico das células meristemáticas do ápice das raízes, resultando na diminuição do comprimento e engrossamento destas (Amenós et al., 2009; Bello et al., 2012). Tal efeito pode levar a planta a apresentar um reduzido e deficiente sistema radicular, causando deficiência nutricional e estresse hídrico e afetando negativamente o crescimento (Epstein & Bloom, 2006), o que foi confirmado neste estudo.

O efeito positivo do calcário nas variáveis de crescimento, provavelmente está relacionado à maior absorção de nutrientes proporcionada pela correção da acidez do solo (Tabela 3). No caso do presente estudo, o aumento do sistema radicular obtido com a adição de calcário pode ter favorecido a absorção de nutrientes, tendo em vista que a superfície radicular é um dos principais fatores que regulam a absorção destes (Epstein & Bloom, 2006). E, conseqüentemente, este melhor

estado nutricional favoreceu o crescimento das plantas cultivadas em solo corrigido.

Silva et al. (2007), Tucci et al. (2007) e Souza et al. (2010) também observaram acréscimo no crescimento de mudas de mogno mediante o fornecimento de 250; 850 e 500  $\text{mg dm}^{-3}$  de calcário dolomítico, respectivamente, cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico típico em casa de vegetação. Entretanto, Silva et al. (2011) não observaram efeito do fornecimento de 500  $\text{mg dm}^{-3}$  de calcário dolomítico no crescimento de mudas de mogno cultivadas nas mesmas condições.

Quanto ao efeito do fator doses de P nas variáveis biométricas do mogno, observa-se que o fornecimento de níveis crescentes desse nutriente afetou de forma positiva e quadrática o crescimento das plantas em altura, diâmetro do colo, MSPA e MSR (Figura 2), sendo que apenas a RPAR não foi afetada ( $P > 0,05$ ). Entretanto, as magnitudes das respostas das variáveis de crescimento foram diferentes entre si, de forma que o diâmetro do colo e a MSR apresentaram maiores incrementos até aproximadamente a aplicação de 22  $\text{mg dm}^{-3}$  de P, tendendo à estabilizar nas doses maiores, o que sugere uma baixa responsividade dessas variáveis à aplicação de P. Por outro lado, as variáveis altura, MSPA e MST apresentaram maiores incrementos até o fornecimento de aproximadamente 88  $\text{mg dm}^{-3}$  de P, tendendo à estabilizar apenas na maior dose, sugerindo que essas variáveis são mais influenciadas pela disponibilidade de P.



**Figura 2.** Altura, diâmetro do colo, matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raízes (MSR) das mudas de mogno

(*Swietenia macrophylla* King.), em função de diferentes doses de fósforo, após 90 dias de cultivo em casa de vegetação.

As espécies secundárias tardias ou climácicas, como o mogno, geralmente são caracterizadas por baixo potencial de resposta à aplicação de P em curto prazo, principalmente devido às reservas de P em forma de fitina nas sementes (Resende et al., 1999). No caso do presente estudo, o maior crescimento das plantas cultivadas mediante o fornecimento de doses crescentes de P, principalmente em MSPA, sugere que apesar do mogno ser uma espécie secundária tardia, na ausência deste nutriente as plantas terão seu desenvolvimento comprometido, em virtude da considerável sensibilidade dessa espécie à deficiência de P no solo. Tal premissa é confirmada pelo efeito positivo da adição de P no estado nutricional das plantas (Figura 1). A máxima eficiência física (MEF) para a produção de MST foi obtida com a aplicação de aproximadamente  $87 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, enquanto que a máxima eficiência econômica foi alcançada com a aplicação de cerca de  $41,6 \text{ mg dm}^{-3}$  de P.

Levando-se em consideração a baixa disponibilidade de P do solo utilizado no presente estudo, a qual é semelhante aos solos geralmente utilizados para a formação de mudas de espécies florestais (Tucci et al., 2009), fica evidente a necessidade da aplicação deste nutriente para a formação de mudas de mogno, tendo em vista que a escassez de P se constitui em um fator limitante à qualidade destas. Tal premissa é comprovada ou suportada pela limitada produção de matéria seca na ausência de P, o que pode influenciar fortemente a sobrevivência e o crescimento das mudas de espécies florestais após o transplântio (Haase, 2007). Mexal et al. (2002), estudando o efeito da aplicação de P e N na sobrevivência e crescimento em campo de mudas de mogno após o transplântio, verificaram correlação entre o crescimento das plantas e o estado inicial das mudas, havendo maior crescimento das plantas obtidas a partir de mudas com maior diâmetro do colo. Tais resultados enfatizam a importância do suprimento adequado de P na formação de mudas de mogno.

O maior crescimento das plantas em função do aumento do teor de P no solo, provavelmente está relacionado à participação deste na divisão e alargamento celular, assim como no desenvolvimento dos tecidos meristemáticos, processos correlacionados com o crescimento das plantas (Mengal & Kirkby, 2001; Sawan et al., 2001). A produção de biomassa é o parâmetro biológico mais limitado pela deficiência nutricional

em espécies florestais (Silva et al., 1997), sendo que o suprimento da demanda nutricional permite a expressão do potencial de produção de biomassa das espécies de crescimento inicial mais acentuado, quando comparadas com as espécies climácicas, como no caso do mogno. O fornecimento de P às plantas também favorece o crescimento do sistema radicular (Schwambach et al., 2005), efeito responsável pelo aumento da MSR das plantas mediante a elevação do teor de P no solo (Figura 5), permitindo às plantas explorar maior volume de solo, proporcionando maior absorção de água e nutrientes, os quais também podem ter contribuído para a maior produção de biomassa das mudas de mogno mediante o fornecimento de P. Tal premissa é reforçada pelo aumento no acúmulo de nutrientes das plantas em função do fornecimento de doses crescentes de P no solo (Figura 1).

Os resultados obtidos no presente estudo contrastam com aqueles verificados por Tucci et al. (2011), que não verificaram efeito de doses de P no crescimento de mudas de mogno, cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico típico em casa de vegetação. Também contrastam, de certo modo, com os resultados relatados por Wallau et al. (2008), que avaliando o desenvolvimento de mudas de mogno em solução nutritiva, constataram apenas uma pequena redução na MSPA das plantas sob a omissão de P. Todavia, estes autores propõem que o P fornecido na solução nutritiva completa durante o período de adaptação foi suficiente para satisfazer em parte a exigência das plantas por este nutriente, levando em consideração o potencial das espécies arbóreas em absorver e acumular P-inorgânico no vacúolo das células. No presente estudo as plantas cultivadas sem o fornecimento de P apresentaram uma redução de aproximadamente 45% na produção de MSPA, em relação às plantas que receberam a aplicação de  $88 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, as quais apresentaram maior ganho em MSPA, sob correção da acidez.

Por outro lado, o comportamento observado no presente estudo corrobora com aqueles encontrados por Santos et al. (2008) e Souza et al. (2010), que mostraram acentuada redução nas variáveis biométricas de mudas de mogno cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico em casa de vegetação, na ausência do fornecimento de P. De forma semelhante, Viégas et al. (2012) verificaram que plantas jovens de mogno cultivadas em solução nutritiva tem a produção de matéria seca das folhas, caule, pecíolos e raízes acentuadamente reduzida sob

a omissão de P. Esses autores observaram ainda menor crescimento em altura e aparecimento de sintomas visuais de deficiência de P, como coloração verde escura das folhas, sendo o P o segundo nutriente mais limitante ao crescimento do mogno, atrás apenas do N. Mexal et al. (2002) também verificaram incrementos na altura e diâmetro do mogno aos 28 meses após o transplântio, cultivado num Vertissolo em condições de campo, em resposta à fertilização do substrato para a formação das mudas com P e N (80 e 535 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente).

### Conclusão

O fornecimento de doses crescentes de P e calcário afetam positivamente o crescimento inicial e o acúmulo de nutrientes em mudas de mogno, todavia, sem apresentar interações entre si.

A aplicação de 44 mg dm<sup>-3</sup> de P associada à adição de 500 mg dm<sup>-3</sup> de calcário dolomítico proporcionaram a máxima produção econômica de matéria seca total das mudas de mogno.

Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram que as mudas de mogno são sensíveis à acidez e à baixa disponibilidade de P do solo, tendo seu crescimento inicial favorecido pelo fornecimento de calcário e adubo fosfatado. Dessa forma, a correção da acidez do solo e o fornecimento de P influenciam positivamente a formação de mudas de mogno, sendo ainda necessários estudos sobre esses efeitos em condições de campo.

### Referências

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG/UFV, 1999. p. 303-305.
- AMENÓS, M.; CORRALES, I.; POSCHENRIEDER, C.; ILLÉŠ, P.; BALUŠKA, F.; BARCELÓ, J. Different effects of aluminium on the actin cytoskeleton and brefeldin A-sensitive vesicle recycling in root apex cells of two maize varieties differing in root elongation rate and Al tolerance. **Plant & Cell Physiology**, Kyoto, v. 50, n. 3, p. 528-540, 2009.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG/UFV, 1999. p. 303-305.
- BELLO, I. A.; ESCOBAR, I. R.; TESTILLANO, P. S.; RISUENO, M. C. Efectos del aluminio en la división y el alargamiento celular en plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Cultivos Tropicales**, San José de las Lajas, v. 33, n. 1, p. 35-40, 2012.
- BOLLAND, M. D. A.; GILKES, R. J. The chemistry and agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. **Journal of Crop Production**, Philadelphia, v. 1, n. 2, p. 139-163, 1998.
- BRASIL, E. C.; MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 599-606, 1997.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 403 p.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, Waltham, v. 99, p. 345-431, 2008.
- FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 34, n. 3, p. 337-342, 2004.
- FERNANDES, A. R.; PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; MIRANDA, J. R. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 599-608, 2007.
- FERNÁNDEZ R., I. E. J.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade do fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química. I: Alterações químicas e mineralógicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2307-2318, 2008.
- GABRIEL, V. A.; VASCONCELOS, A. A.; LIMA, E. F.; CASSOLA, H.; BARRETTO, K. D.; BRITO, M. C. A importância das plantações de eucalipto na conservação da biodiversidade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 74, p. 203-213, 2013.
- HAASE, D. L. Morphological and physiological evaluations of seedling quality. In: RILEY, L. E.; DUMROESE, R. K.; LANDIS, T. D. (Ed.). **National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations**. Fort Collins, Colorado: USDA, 2007. p. 3-8.
- KIMANI, J. M.; DERERA, J. Combining ability analysis across environments for some traits in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under low and high soil phosphorus conditions. **Euphytica**, Berlin, v. 166, p. 1-13, 2009.
- LEHMANN, J.; GÜNTHER, D.; MOTA, M. S.; ALMEIDA, M. P.; ZECH, W.; KAISER, K. Inorganic and organic soil phosphorus and sulfur pools in an Amazonian multistrata agroforestry system. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, p. 113-124, 2001.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.
- MENGAL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5ª ed. Dordrecht, South Holland: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- MEXAL, J. G.; RANGEL, R. A. C.; NEGREROS-CASTILLO, P.; LEZAMA, C. P. Nursery production practices affect survival and growth of tropical hardwoods in Quintana Roo, Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 168, p. 125-133, 2002.
- NEVES, O. S. C.; BENEDITO, D. S.; MACHADO, R. V.; CARVALHO, J. G. Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba

- (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 343-349, 2004.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1999. 399 p.
- PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; SIQUEIRA, J. O.; CORRÊA, J. B. D. Teor, conteúdo e índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de zinco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2003.
- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; CURTI, N.; FAQUIN, F. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, 1999.
- ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 953-964, 2004.
- SANTOS, R. A.; TUCCI, C. A. F.; HARA, F. A.; SILVA, W. G. Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 3, p. 453-458, 2008.
- SAWAN, Z. M.; HAFEZ, S. A.; BASYONY, A. E. Effect of phosphorus fertilization and foliar application of chelate zinc and calcium on seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 136, p. 191-198, 2001.
- SCHWAMBACH, J.; FADANELLI, C.; FETT-NETO, A. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globules*. **Tree Physiology**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 487-494, 2005.
- SILVA, A. R. M.; TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; FIGUEIREDO, A. F. Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 195-200, 2007.
- SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 628 p.
- SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; CURTI, N.; VALE, F. R. Crescimento inicial de quatorze espécies florestais em resposta à adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 2, p. 205-212, 1997.
- SILVA, T. A. F.; TUCCI, C. A. F.; SANTOS, J. Z. L.; BATISTA, I. M. P.; MIRANDA, J. F.; SOUZA, M. M. Calagem e adubação fosfatada para a produção de mudas de *Swietenia macrophylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 459-470, 2011.
- SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- SOUZA, C. A. S.; TUCCI, C. A. F.; SILVA, J. F.; RIBEIRO, W. O. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 3, p. 515-522, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Sunderland, Tyne and Wear: Sinauer, 2010. 782 p.
- TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; LESSA, J. F. Adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 2, p. 289-294, 2009.
- TUCCI, C. A. F.; SANTOS, J. Z. L.; SILVA JÚNIOR, C. H.; SOUZA, P. A.; BATISTA, I. M. P.; VENTURIN, N. Desenvolvimento de mudas de *Swietenia macrophylla* em resposta a nitrogênio, fósforo e potássio. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 471-490, 2011.
- TUCCI, C. A. F.; SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; BARROS, J. G. Calagem e adubação para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 299-307, 2007.
- VIÉGAS, I. J. M.; LOBATO, A. K. S.; RODRIGUES, M. F. S.; CUNHA, R. L. M.; FRAZÃO, D. A. C.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; GUEDES, E. M. S.; ALVES, G. A. R.; SILVA, S. P. Visual symptoms and growth parameters linked to deficiency of macronutrients in young *Swietenia macrophylla* plants. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 10, n. 1, p. 937-940, 2012.
- WALLAU, R. L. R.; BORGES, A. R.; ALMEIDA, D. R.; CAMARGOS, S. L. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 304-310, 2008.