

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

The seal of the Universidade Federal do Amazonas is a circular emblem. It features a central figure of a bird, possibly a toucan, perched on a branch. The bird is surrounded by a laurel wreath. Above the bird are three stars. The text "UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS" is written along the top inner edge of the circle, and "IN UNIVERSA SCIENTIA VERITAS" is written along the bottom inner edge. Two small dots are positioned on the left and right sides of the circle.

EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA SOBRE PARÂMETROS
MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS DE DUAS ESPÉCIES
FLORESTAIS NATIVAS DA AMAZÔNIA

CARLA ELOIZA BAVOSE CAMPOS SEABRA

MANAUS
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

CARLA ELOIZA BAVOSE CAMPOS SEABRA

EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA SOBRE PARÂMETROS
MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS DE DUAS ESPÉCIES
FLORESTAIS NATIVAS DA AMAZÔNIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Franco Tucci
Coorientador: Prof. Dr. Bruno Fernando Faria Pereira
Coorientador: Prof. Dr. Patrick Joseph Minogue

MANAUS
2015

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S438e Seabra, Carla Eloiza Bavose Campos
Efeito da adubação fosfatada sobre parâmetros morfológicos e fisiológicos de duas espécies florestais nativas da Amazônia / Carla Eloiza Bavose Campos Seabra. 2015
116 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Carlos Alberto Franco Tucci
Coorientador: Bruno Fernando Faria Pereira
Coorientador: Patrick Joseph Minogue
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Fertilização fosfatada. 2. Parâmetros biométricos. 3. Parâmetros fisiológicos. 4. Mogno. 5. Balsa. I. Tucci, Carlos Alberto Franco II. Universidade Federal do Amazonas III. Título


CARLA ELOIZA BAVOSE CAMPOS SEABRA


EFEITO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA SOBRE
PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS DE
DUAS ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS DA AMAZÔNIA


Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.


Aprovada em: 29/07/2015


BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Carlos Alberto Franco Tucci
Universidade Federal do Amazonas


Prof. Dr. Francisco Adilson dos Santos Hara, Membro
Universidade Federal do Amazonas


Prof. Dr. Marciel José Ferreira, Membro
Universidade Federal do Amazonas


Prof. Dr. Spartaco Astolfi Filho, Membro
Universidade Federal do Amazonas


Prof. Dr. Wellington Gomes da Silva, Membro
Universidade Federal do Amazonas

A minha mãe, ao meu pai, *in memoriam*, e ao meu esposo
pela compreensão, com apoio ininterrupto

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Mencionar todos que contribuíram para o sucesso deste trabalho seria justo, mas por causa da limitação de minha memória e do espaço concedido para essa seção, desculpo-me antecipadamente se, porventura, alguém que tenha mérito para tal não for citado. Portanto, gostaria de agradecer, gentilmente:

A Deus, pelo dom da vida e, por concedê-lo sem custos;

À Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade de realização do Curso de Pós-graduação em Agronomia Tropical;

Ao North Florida Research and Education Center – NFREC, UF/IFAS (USA), por conceder toda a estrutura necessária para a realização da parte experimental desse estudo, além de o apoio nas publicações;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro, especialmente pela concessão de uma bolsa dentro do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE.

Aos Dr. Carlos Alberto Franco Tucci, a quem escolhi como orientador há 12 anos atrás, e Dr. Bruno Fernando Faria Pereira, meus sinceros agradecimentos pela excelente e valiosa orientação, confiança, estímulo, fidalguia e dedicação;

Aos professores Agnaldo Rodriguês de Melo Chaves e Spartaco Astolfi Filho pela inspiração e real humildade como profissionais.

Ao meu amoroso e dedicado esposo, Luiz Gonzaga Pinheiro Seabra, que além de ter sido um forte incentivador para que eu buscasse esse nível de formação acadêmica, também trabalhou duramente na parte experimental.

Aos meus colegas e amigos do Curso de Pós-graduação em Agronomia Tropical, especialmente aqueles do meu ano de ingresso, 2011.

“E viu Deus tudo quanto tinha feito, e eis que era muito bom”

Bíblia Sagrada (Gen. 1:31a)

“A parte que ignoramos é muito maior
que tudo quanto sabemos”

Platão

RESUMO

Plantios comerciais de mogno e pau-de-balsa, com maiores relações custo/benefício, podem alavancar o mercado de madeira de espécies nativas, tanto interno quanto externo. Mogno e pau-de-balsa estão entre as mais valiosas espécies de madeira com diversos usos, sendo ambas economicamente promissoras. Todavia, informações sobre a influência do fósforo (P) na nutrição e desenvolvimento das mesmas são incipientes. Em condições de casa de vegetação, avaliou-se os efeitos de quatro doses de P (0; 1; 10 e 100 kg ha⁻¹) sobre parâmetros biométricos e fisiológicos dessas espécies. Para mogno, as doses crescentes de P elevaram o crescimento da parte aérea, os conteúdos de carbono, nitrogênio, P e, as concentrações foliares de macronutrientes e manganês, e diminuíram a eficiência de utilização de P, as concentrações foliares de boro e cobre e, a concentração dos ácidos orgânicos no fluido do xilema. Não foi verificado efeito sobre o crescimento de raiz, as concentrações foliares de Zn e Fe, e a atividade de fosfatase de raiz. Destaca-se que houve correlação inversa entre a atividade de fosfatase ácida de raiz e o crescimento da parte aérea e, P e N acumulados na planta. Para pau-de-balsa, o aumento das doses de P elevou o crescimento da parte aérea, a eficiência de utilização de P e a concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema. As concentrações foliares de nutrientes foram afetadas de forma variada pela aplicação de doses de P: P, magnésio e cálcio aumentaram e, nitrogênio, potássio, enxofre, boro, zinco e cobre diminuíram. Doses crescentes de P diminuíram a atividade de fosfatase ácida de raiz. Não foi verificado efeito sobre as concentrações foliares de manganês, ferro e do ácido oxálico no fluido no xilema. Em geral, doses crescentes de P melhoram a formação das mudas dessas espécies. Porém, uma adubação equivalente a 100 kg P ha⁻¹ pode causar desequilíbrio de crescimento em mudas de pau-de-balsa.

Palavras chave: *Swietenia macrophylla*, *Ochroma pyramidale*, fertilização fosfatada, parâmetros biométricos, parâmetros fisiológicos.

ABSTRACT

Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) is in high demand world-wide, and is one of Brazil's most highly valued forestry species. Balsa (*Ochroma pyramidale* Cav. ex. Lamb.) also has broad usage and great market potential owing to extremely rapid growth rates. Rather than harvesting these increasingly rare timber species from native forests, high density commercial plantings have been established. However, there is little information concerning the nutritional requirements of both species, especially regarding the response to soil phosphorous (P). Phosphorous is expensive in Brazil and over use is associated with adverse environmental consequences. In this study, we examined the effects of four levels of P fertilization (0, 1, 10 and 100 kg ha⁻¹) on biometric and physiological parameters of mahogany and balsa wood seedlings grown in the greenhouse. The response to P was markedly different for the two species. For mahogany, seedling height, seedling diameter, leaf area, leaf weight, stem dry weight, and total dry weight increased at the 100 kg/ha⁻¹ P level. The greatest increase (3- to 5-fold) occurred for leaf area and leaf weight, whereas root dry mass was not influenced by P. Similarly, %N and %P (but not %C) in leaf, stem and root tissue increased with increasing P level, but increased drastically at the 100 kg/ha⁻¹ P treatment. The divalent cations (Ca and Mg) increased in foliar tissue, yet the concentrations of organic acids in xylem fluid declined with increasing P. Leaf macro- and micro-nutrients concentrations were influenced by P treatments, with the exception of Zn and Fe. Leaf, stem and root P utilization efficiency was highest at the 0, 1 or 10 level. Root phosphatase activity was unaffected by P level. By contrast, balsa responded greatly to increasing P concentration, although the most dramatic increase was at 100 kg/ha⁻¹. For example, there was a 9-, 4-, 66-, 25-, 65-, 25- and 32-fold increase for seedling height, seedling diameter, leaf area, leaf dry mass, stem dry mass, root dry mass, and total dry mass, respectively, for the 0 compared to the 100 kg/ha⁻¹ treatment. Leaf, stem and root %N decreased and %P increased with increasing P levels. Macro and micro nutrient levels were

influenced by P treatment, with the exception of Mn. The concentrations of organic acids in xylem fluid were altered by P fertilization; and malic, succinic, and lactic acids were highest at the 100 kg/ha⁻¹ treatment. Leaf, stem and root P utilization efficiency increased greatly with increasing P level; however, root phosphatase activity decreased with increasing P levels. The implications of these physiologic data are discussed in relation to management strategies for the culture of mahogany and balsa.

Key words: *Swietenia macrophylla*, *Ochroma pyramidale*, phosphorus fertilization, growth parameters, phosphorus utilization efficiency; root phosphatase activity; organic acids in the xylem fluid.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Efeitos de doses de P sobre parâmetros de crescimento de mogno.....	34
Figura 2. Efeitos de doses de P sobre a produção de massa seca e dois índices de qualidade de mogno.....	41
Figura 3. Efeitos de doses de P sobre os conteúdos de C, N e P, em folha, caule e raiz de mogno.....	44
Figura 4. Efeitos de doses de P sobre a eficiência de utilização de P em folha, caule e raiz de mogno.....	45
Figura 5. Efeitos de doses de P sobre a atividade de fosfatase ácida de raízes de mogno.....	47
Figura 6. Efeitos de doses de P sobre a concentração de nutrientes em folha de mogno.....	49
Figura 7. Efeitos de doses de P sobre a concentração de seis ácidos orgânicos no fluido do xilema de mogno.....	54
Figura 8. Efeitos de doses de P sobre parâmetros de crescimento de pau-de-balsa.....	75
Figura 9. Efeitos de doses de P sobre a produção de massa seca e dois índices de qualidade de pau-de-balsa.....	77
Figura 10. Efeitos de doses de P sobre os conteúdos de C, N e P, em folha, caule e raiz de pau-de-balsa.....	80
Figura 11. Efeitos de doses de P sobre a eficiência de utilização de P em folha, caule e raiz de pau-de-balsa.....	82
Figura 12. Efeitos de doses de P sobre a atividade de fosfatase de raízes de pau-de-balsa.....	83
Figura 13. Efeitos de doses de P sobre a concentração de nutrientes em folha de pau-de-balsa.....	86
Figura 14. Efeitos de doses de P sobre a concentração de seis ácidos orgânicos no fluido do xilema de pau-de-balsa.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do substrato <i>peat mix</i>	34
Tabela 1A. Parâmetros biométricos em mudas mogno.....	109
Tabela 1B. Concentração de C, N e P em raiz, caule e raiz em mudas de mogno...	110
Tabela 1C. Conteúdo de C, N e P em raiz, caule e raiz em mudas de mogno.....	110
Tabela 1D. Concentração foliar de nutrientes em mudas de mogno.....	111
Tabela 1E. Concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema de mudas de mogno.....	111
Tabela 1F. Eficiência de utilização de P em folha, caule e raiz e, atividade de fosfatase ácida de raiz em mogno.....	112
Tabela 2A. Parâmetros biométricos em mudas de pau-de-balsa.....	113
Tabela 2B. Concentração de C, N e P em raiz, caule e raiz em mudas de pau-de-balsa.....	114

Tabela 2C. Conteúdo de C, N e P em raiz, caule e raiz em mudas de pau-de-balsa.....	114
Tabela 2D. Concentração foliar de nutrientes em mudas de pau-de-balsa.....	115
Tabela 2E. Concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema de mudas de pau-de-balsa.....	115
Tabela 2F. Eficiência de utilização de P em folha, caule e raiz de mudas de pau-de-balsa e atividade de fosfatase ácida de raiz em pau-de-balsa.....	116

SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Qualidade de mudas.....	18
2.1.1 Altura, diâmetro, área foliar e massa seca.....	19
2.1.2 Índices de qualidade de mudas.....	20
2.2 Fertilidade do substrato e avaliação nutricional de mudas.....	21
2.2.1 Eficiência de utilização de fósforo.....	23
2.2.2 Atividade de fosfatase ácida.....	24
2.2.3 Concentração de nutrientes na planta.....	25
2.3 Composição química do fluido do xilema.....	26

2.3.1	Concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema.....	27
2.3.2	Transporte de nutrientes no fluido do xilema.....	28
3	CAPITULO I - FERTILIZAÇÃO FOSFATADA: EFEITOS SOBRE ALGUNS PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS DE MOGNO	
3.1	Introdução.....	32
3.2	Material e métodos.....	34
3.3	Resultados e discussão.....	38
3.4	Conclusões	57
	REFERÊNCIAS.....	58
3	CAPITULO II - FERTILIZAÇÃO FOSFATADA: EFEITOS SOBRE ALGUNS PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS PAU-DE-BALSA	
3.1	Introdução.....	68
3.2	Material e métodos.....	70
3.3	Resultados e discussão.....	74
3.4	Conclusões	92
	REFERÊNCIAS.....	93
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
5	REFERÊNCIAS.....	101
6	APÊNDICES.....	108

1 INTRODUÇÃO GERAL

As florestas naturais do mundo somam cerca de quatro bilhões de hectares, cobrindo aproximadamente 30% da superfície terrestre do globo (FAO, 2007; ABRAF, 2012). O Brasil possui a segunda maior cobertura do mundo, com aproximadamente 851,4 milhões de hectares (SNIF, 2015; ABRAF, 2012). E, além disso, está emergindo um promissor mercado consumidor de bens florestais (BRACELPA, 2010). Em 2014, as exportações de celulose, papel e madeira foram de US\$ 5,29 bilhões; US\$ 1,93 bilhão e US\$ 2,73 bilhões; respectivamente, segundo a Secretaria de Política Agrícola – SPA. As florestas plantadas ocupam 5,98 milhões de ha, menos de 1% da área produtiva do País, mas fica em terceiro lugar no saldo da balança comercial, atrás apenas do complexo: soja e carne. Esse setor responde por 75% de tudo o que é consumido pelas indústrias florestais. O produto interno bruto setorial é da ordem de US\$ 56 bilhões, representa 1,2% de toda a riqueza gerada pelo País e, cerca de 24% do valor adicionado ao PIB pelo setor agropecuário (SNIF, 2015).

Todavia, ainda é incipiente o conhecimento que possibilita maior sucesso no estabelecimento de plantios comerciais de espécies arbóreas nativas (SHONO; SNOOK, 2006; SANTOS et al., 2008a; BRONDANI et al., 2008), especialmente na Amazônia (SILVA et al., 2006; TUCCI et al., 2011; CARDOSO et al., 2015). Como consequência disso, a madeira para o comércio internacional ainda é obtida, como ocorre há séculos, de florestas naturais na América Latina (BLUNDELL; GULLISON, 2003; SHONO; SNOOK, 2006). Duas espécies se destacam neste contexto: o mogno e o pau-de-balsa (BARBOSA et al., 2004; TUCCI et al., 2010; CARDOSO et al., 2015).

Para que se alcance esta meta, o conhecimento sobre aspectos nutricionais de planta é fundamental, especialmente nas fases de mudas e de estabelecimento inicial do cultivo (SILVA et al., 2006; TUCCI et al., 2011; FREIBERGER et al., 2014). O atraso no desenvolvimento das

mudas reduz o volume de madeira, uma vez que as plantas resultantes deste povoamento tendem a apresentar características irregulares e pior qualidade do fuste (ARAÚJO; ARAÚJO, 2011).

Por conseguinte, a proposta primária de viveiros florestais é a produção de mudas de qualidade para reflorestar e formar novas florestas (FOCHO et al., 2011). A melhoria da fertilidade do substrato usado em viveiros é essencial para garantir a produção de mudas de alta qualidade (TUCCI et al., 2011; FOCHO et al., 2011). Na região tropical, a fertilização fosfatada é muito importante, pois o declínio da fertilidade natural do solo nesta tem sido apontada como o maior obstáculo para a produção das espécies (STOORVOGEL; SMALING, 1998; HARTEMINK, 2006).

O nível de fertilização de nutrientes no substrato influencia na sua disponibilidade, segundo Novais; Smyth (1999) e Malavolta (2006); e, conseqüentemente, na sua absorção e transporte pela planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Desse modo, o conhecimento das interações envolvendo o transporte de solutos no fluido do xilema, como nutrientes e ácidos orgânicos (PEUKE, 2010), especialmente sob diferentes níveis de nutrientes, auxilia na avaliação do estado nutricional da planta (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; BALAL et al., 2011).

Portanto, a investigação sobre a influência de doses de P nos processos de absorção, transporte e uso do P, usando parâmetros biométricos e fisiológicos como ferramentas de avaliação, pode contribuir na produção de mudas de qualidade, com menores custos (VASQUEZ-PINEDO et al., 2001).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Cinco países concentram mais da metade da área florestal total do planeta: Federação Russa, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China (SNIF, 2015). No Brasil, 477,7 milhões de ha correspondem a florestas naturais e 5,98 milhões, a florestas plantadas, sendo 3,75 milhões com eucalipto; 1,80 milhão com pinus e 425,2 mil de outras espécies, estas ocupando apenas 0,7 mil ha do território nacional, de acordo com ABRAF (2012) e SNIF (2015).

O comércio mundial, em 2007, movimentou aproximadamente US\$ 10 trilhões. Os produtos de origem florestal figuram entre os 10 principais produtos comercializados internacionalmente, com 3% do comércio global, cerca de US\$ 300 bilhões (ABRAF, 2012). No setor florestal brasileiro, as exportações de madeira representaram cerca de US\$ 3,3 bilhões e, de móveis US\$ 994,3 milhões (ABRAF, 2012). Os empregos em toda a cadeia produtiva da atividade florestal, em 2007, foram da ordem de 8,6 milhões. O segmento de florestas plantadas proporcionou 4,6 milhões de empregos, incluindo diretos (656 mil) e indiretos (1,8 milhão) (ABRAF 2012; SNIF, 2015). Em 2009, foram produzidos na Amazônia Legal cerca de cinco milhões e 800 mil m³ de madeira beneficiada, serrada, laminada e compensada. O mercado nacional consumiu 79% dessa madeira, enquanto 21% foram destinados ao mercado externo (PEREIRA et al., 2010).

O mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King; Meliaceae) produz madeira moderadamente pesada (com densidade de 0,5 a 0,70 g/cm³), alburno bege a amarelado, distinto do cerne castanho rosado a castanho cobre; e, brilho presente. Permite excelente acabamento, sendo utilizada para mobiliários de luxo, painéis, lambris, adornos, molduras e assoalhos. Isto devido ao fato de ser durável e resistente ao ataque de fungos e insetos, além de ter boa textura (média), excelente trabalhabilidade e, alto rendimento volumétrico (LORENZI, 1998). De acordo com especialistas, descritos por Pereira et al. (2010), o valor do mogno está muito acima

dos patamares registrados no preço das madeiras comumente encontradas. "Considerando R\$ 3,5 mil m⁻³, o valor é 25% superior à cotação da Freijó, por exemplo, uma das madeiras mais comuns no mercado da região Norte do Brasil, a qual vale R\$ 2,8 mil m⁻³, em média ", ressaltou um especialista, citado por Pereira et al. (2010).

Outra espécie nativa que vem se destacando no mercado de produtos florestais brasileiros, e do mundo, é o pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale*, Cav. ex. Lamb., Malvaceae) (BRACELPA, 2010). Sua madeira é grande resistência às tensões, macia e fácil de trabalhar; pelas suas características, é ideal para construção naval, aérea e civil; e, pode substituir a cortiça, em seus diversos usos (LOREIRO, 1979). É apropriada para a produção de celulose e fabricação de papel e laminados (SNIF, 2015). Essa espécie pode alcançar produção de 300 m⁻³ ha⁻¹ a cada seis anos e ser comercializado a R\$ 400,00 m⁻³, o que poderá render ao produtor aproximadamente R\$ 120 mil.ha⁻¹, em cada ciclo. Somando-se a isso, a planta produz também a pluma, a qual acompanha o preço do mercado internacional de algodão (BRACELPA, 2010).

Há uma expectativa de que o acesso às fontes de fertilizantes fosfatados será exaurido nos próximos 50-100 anos (CORDELL et al., 2009). Porém, na região tropical, a fertilização fosfatada é muito importante, pois o declínio da fertilidade natural do solo nesta tem sido apontada como o maior obstáculo para a produção das espécies (STOORVOGEL; SMALING, 1998; HARTEMINK, 2006).

Sendo assim, a melhoria da fertilidade do substrato usado em viveiros é essencial para garantir a produção de mudas de qualidade (TUCCI et al., 2011; FOCHO et al., 2011). Portanto, é necessária a otimização no uso de fertilizantes fosfatados (MALAVOLTA, 2006; BALOTA et al., 2012); fato implícito para a produção agrícola e florestal sustentável (HARTEMINK, 2006).

Espera-se que a produção de mudas de qualidade, dado o uso adequado de fertilizantes, contribua para a formação de plantas mais resistentes. Isto facilitaria o estabelecimento de plantios comerciais de mogno e pau-de-balsa, com maiores relações custo/benefício; visando suprir os mercados nacional e internacional por madeira oriunda de espécies nativas (PEREIRA et al., 2010).

2.1 Qualidade de mudas

O baixo padrão de qualidade de mudas está entre as principais causas da redução das taxas de incremento/hectare/ano em povoamentos florestais implantados. O padrão de qualidade de mudas varia entre espécies e, para uma mesma espécie entre sítios (CARNEIRO, 1995; PEREIRA et al., 2010; TSAKALDIMI et al., 201). O objetivo é atingir uma qualidade em que as mudas resistam às condições adversas que poderão ocorrer posteriormente, mesmo tendo sido o plantio efetuado em períodos de condições favoráveis (PEREIRA et al., 2010; TSAKALDIMI et al., 2013).

Existem duas correntes distintas com relação a qualidade das mudas. Para alguns especialistas, a qualidade das mudas pode ser avaliada no viveiro ou no campo (CARNEIRO, 1995; PEREIRA et al., 2010; TSAKALDIMI et al., 2013). Para outros, essa avaliação deve acontecer ainda no viveiro, porque fatores como a forma de retirada das plantas dos canteiros, seu manuseio, transporte e técnica de plantio podem afetar o desenvolvimento das mudas no campo (GOMES et al., 2002; CARNEIRO, 1995).

Os parâmetros para conceituar a qualidade de mudas foram classificados em duas naturezas: primeiro os que se baseiam nos aspectos fenotípicos, denominados parâmetros morfológicos (DICKSON et al., 1960) ou biométricos e, outros baseiam-se nos aspectos internos da planta, chamados de parâmetros fisiológicos (SIDDIQI; GLASS, 1981; GOMES et al., 2002).

Esses parâmetros são fortemente influenciados pelas técnicas de produção, notadamente pela densidade de plantio (quantidade de mudas m^{-2}), podas, espécies de fungos e grau de colonização de micorrizas, fertilidade do substrato e volume disponível para cada planta, entre outros (GOMES et al., 2002; TSAKALDIMI et al., 2013). De modo geral, a obtenção de mudas com padrão de qualidade reflete as atividades técnicas desenvolvidas no viveiro e o seu desempenho após o plantio (CARNEIRO, 1995; PEREIRA et al., 2010; TSAKALDIMI et al., 2013).

2.1.1 Altura, diâmetro, área foliar e massa seca

Entre os principais parâmetros biométricos, que definem a qualidade de mudas, pode-se fazer referência principalmente a altura da planta, diâmetro do colo, área foliar, relação altura e diâmetro do colo, produção de massa seca em cada órgão (raiz, caule e folha) e/ou total e, relação entre altura, diâmetro e massa: índice de qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON et al., 1960; CARNEIRO, 1995). Dos parâmetros fisiológicos merecem destaque o potencial hídrico, estado nutricional das mudas, eficiência no uso de nutrientes, atividade de determinadas enzimas (como as fosfatases), número de raízes e quantidade de massa produzida pelas raízes (CARNEIRO, 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006; MARSCHNER, 2012; DAS et al., 2014).

O desempenho das mudas no viveiro é importante para o sucesso dos projetos de implantação de povoamentos florestais. Isto justifica o interesse na qualificação de indicadores para a sobrevivência e o crescimento inicial de mudas após o plantio (DICKSON et al., 1960; SIDDIQI; GLASS, 1981; CARNEIRO, 1995; DAS et al., 2014). Maior atenção tem sido dirigida para os parâmetros biométricos como a altura, o diâmetro do colo, a área foliar e a massa seca produzida. Estas características são de fácil avaliação e podem dar boas prescrições de qualidade de mudas (DICKSON et al., 1960; CARNEIRO, 1995).

Valores entre 20 e 35 cm e, entre 5 e 10 mm, respectivamente, para altura e diâmetro de mudas, se constituem em boas faixas de valores para levar mudas de espécies florestais nativas ao campo (GONÇALVES et al., 2000); assim, estabelecido um limite mínimo e máximo, as mudas podem atingir alturas menores ou maiores em função de local, por exemplo, sob condições adversas (CARNEIRO, 1995).

O diâmetro, a área foliar e a massa seca da planta, de forma conjunta ou não, também são usados como boas medidas da performance das mudas no viveiro, bem como no campo (TSAKALDIMI et al., 2013). Do mesmo modo que para a altura, é verificado que existe uma forte correlação entre a percentagem de sobrevivência e o diâmetro do colo de mudas, medido na ocasião do plantio (CARNEIRO, 1995; TSAKALDIMI et al., 2013).

2.1.2 Índices de qualidade de mudas

O princípio da avaliação quantitativa é de que quanto maior a muda melhor. Mas, para evitar distorções provenientes do excesso de N, por exemplo, ou do crescimento foliar em detrimento do sistema radicular, utilizam-se índices de qualidade, que são relações entre parâmetros de biométricos (GAZAL et al., 2004). O vigor de mudas pode ser expresso pela relação altura e diâmetro do colo (H/D) (CARNEIRO, 1995) ou, pelo IDQ (DICKSON et al., 1960).

O índice H/D exprime o equilíbrio e desenvolvimento de mudas, pois conjuga dois parâmetros em um só índice (CARNEIRO, 1995; GAZAL et al., 2004). Entretanto, este índice apresenta a desvantagem de não considerar o sistema radicular das mudas (CARNEIRO, 1995). A avaliação da qualidade de mudas, por meio deste índice não é feita necessariamente apenas na época de transplante para o campo. As medidas podem ser feitas aproximadamente na metade do período de produção e repetidas posteriormente, objetivando acompanhar o

desenvolvimento das mudas. Assim, pode-se verificar a necessidade ou não de alguma intervenção na produção das mesmas (CARNEIRO, 1995).

Contudo, para uma avaliação mais adequada da qualidade da muda, deve-se considerar um conjunto mínimo de parâmetros e índices de qualidade de mudas, porque uma avaliação conjunta reduz a possibilidade de falhas (LAMBERS; POORTER, 1992; GAZAL et al., 2004).

2.2 Fertilização de substrato e avaliação nutricional de mudas

Nos ecossistemas de terra firme da Amazônia predominam os Latossolos Amarelos e os Argissolos, solos altamente intemperizados com características físicas adequadas ao uso, mas com fortes limitações nutricionais, além de serem ácidos e apresentarem toxicidade de alumínio (CRAVO; SMYTH, 1992).

Geralmente, o correto fornecimento de nutrientes via aplicação de fertilizantes traz como resultado um ganho em produtividade. Esta condição pode ser alcançada a partir do momento em que se dispõe de conhecimento sobre o requerimento nutricional das espécies. A necessidade de se proceder à adubação mineral na produção de mudas, resultou da utilização de substratos pobres em termos nutricionais para o crescimento inicial das plantas (CRAVO; SMYTH, 1992; MALAVOLTA, 2006).

A qualidade das mudas de espécies florestais tem uma relação direta com a qualidade do substrato, pois dele depende todo o conjunto de eventos que envolve e antecede a sua produção (CARNEIRO, 1995). Os nutrientes minerais do solo principalmente o N, P e K têm grande influência no crescimento das espécies e significativamente na produção de mudas (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; BOVI et al., 1998; MAIA-ALMEIDA et al., 2008; BALAL et al., 2011; CARDOSO et al., 2015). Portanto, tem despertado a atenção dos pesquisadores florestais (GOMES et al., 2002).

As espécies florestais normalmente não apresentam sintomas visíveis de deficiência nutricional na fase de mudas, porém mesmo não ocorrendo os sintomas, o crescimento das mudas pode tornar-se reduzido, ou exagerado, promovendo desequilíbrio de crescimento (GONCALVES et al., 2000). Raras são as espécies florestais cujos níveis críticos foram estudados, assim como a relação destes níveis com as características do substrato (SANTOS et al., 2008a; COSTA FILHO et al., 2013). Segundo Neves et al. (1990), somente com a determinação de classes de fertilidade é que se pode dispor de informações sobre deficiência, carência, suficiência e toxidez de certo nutriente.

A adubação é a técnica mais eficiente para acelerar o crescimento tanto de mudas no viveiro como de plantas no campo. Todavia para o seu uso racional, deve-se conhecer a demanda nutricional das espécies e a capacidade do substrato em fornecer os nutrientes necessários na quantidade e no tempo adequados (BARROS et al., 1997). Mudas com adequado teor nutricional constitui uma suposição de adequado desenvolvimento e uma boa formação do sistema radicular, com melhor capacidade de adaptação ao novo local após o plantio, apresentando vantagens como até mesmo o aumento da resistência a baixas temperaturas (CARNEIRO, 1995).

Segundo Taiz & Zeiger (2009) e Marschner (2012), as diferenças encontradas nos teores de cada nutriente nos diferentes órgãos da planta, como também diferenças nesses teores entre esses órgãos, são esperadas não somente para P e N, por causa de diferentes processos fisiológicos, como também devido ao estágio de desenvolvimento, como consequência de componentes inerentes à espécie.

De acordo com Pooter (1990), combinações apropriadas de P e N, ou mesmo de os outros nutrientes, podem resultar, por exemplo, em aumentos na área foliar; porque a combinação de diferentes nutrientes estimula a divisão celular e a abertura dos estômatos, com consequente expansão celular.

Para Sarcinelli et al. (2004), o conhecimento das exigências nutricionais em espécies florestais permite a identificação e correção de deficiências que podem ocorrer em exemplares plantados em diferentes substratos degradados, possibilitando, dessa maneira, intervenções corretas, sem desperdícios e de menor impacto ambiental. Assim sendo, a correção das limitações nutricionais do substrato, durante a formação das mudas, respectivamente, em viveiros e/ou no campo, é de grande importância ecológica e econômica em programas florestais (SOUZA et al., 2010).

2.2.1 Eficiência de utilização de fósforo

De acordo com White et al. (2013), existem duas maneiras de se discutir eficiência de utilização de nutrientes (EUN): uma é quando se pensa em EUN em relação a disponibilidade do nutriente no solo e sua absorção pela planta; o outro ponto de vista, é considerar EUN dentro de partes da planta (raiz, caule e folha, por exemplo) ou na planta como um todo, como proposto por Siddiqi; Glass (1981).

Siddiqi; Glass (1981), ao tratarem da EUNa qual leva em conta tanto parâmetros biométricos como fisiológicos;em consequência disso, eles possibilitam a mensuração da eficiência de utilização de fósforo (EUP), associando parâmetros biométricos e fisiológicos num único índice. Isso torna essa medida uma ferramenta eficaz para a avaliação do estado nutricional de mudas (BALIGAR et al., 2001).

Segundo Baligar et al. (2011), melhores práticas de manejo se constituem em melhores alternativas para ampliar a eficiência de uso de nutrientes. Sobretudo, a avaliação da EUP é uma ferramenta quantitativa que melhor expressa, qualitativamente, o potencial de a maioria das espécies de planta tolerarem condições de déficit de P (NOVAIS; SMYTH, 1999; BALIGAR et al., 2001; WHITE et al., 2013).

Portanto, plantas eficientes no uso de P seriam aquelas que obtêm boa produção de massa seca, mesmo com baixas quantidades de P no tecido (NOVAIS; SMYTH, 1999; BALIGAR et al., 2001). Globalmente, a EUP representa a habilidade da planta de produção de massa (fresca ou seca) para cada unidade de P absorvido (SIDDIQI; GLASS, 1981; NOVAIS; SMYTH, 1999; BALIGAR et al, 2001; OLIVEIRA; CARVALHO, 2011; BALOTA et al., 2012; SOUZA et al., 2012; WHITE et al., 2013).

2.2.2 Atividade de fosfatase ácida

O P está relacionado a todas as etapas metabólicas, por fazer parte dos processos de síntese proteica e energética, na translocação e formação de ácidos graxos, fosfolipídios e nucleoproteínas, além de interferir diretamente no processo fotossintético (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCNHER, 2012).

Porém, em solos tropicais, a forma solúvel do P é encontrada em pequenas quantidades devido à adsorção aos óxidos de ferro e alumínio (NOVAIS; SMITH, 1999). Somando a isso, o mogno ocorre em solos com baixa fertilidade natural (LORENZI, 1998; CLINEBELL et al., 1995; NOVAIS; SMITH, 1999) e, o pau-de-balsa parece ser uma espécie mais exigente em termos nutricionais, porque ocorre naturalmente em solos mais férteis que aqueles onde ocorre mogno (LOUREIRO et al., 1979; LORENZI, 1998). Portanto, quaisquer processos que afetem o fluxo difusivo do nutriente até a zona de depleção próxima à rizosfera (NOVAIS; SMITH, 1999; EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006), prejudicaria o desenvolvimento dessas espécies.

Entretanto, algumas plantas apresentam eficiência em absorver, acumular e utilizar o P, e quando em condições favoráveis, tais plantas armazenam no vacúolo o máximo possível do P na forma inorgânica para utilizá-lo em condições de limitação (BIELESKI; FERGUSON, 1983; LYNCH; HO, 2005). Além disso, elas também contam com a enzima fosfatase, que

aumenta sua atividade em condições sub-ótimas de P no tecido foliar, atuando na desfosforilação de moléculas orgânicas e liberando o P para a síntese de “novo” e manutenção do metabolismo basal (BIELESKI; FERGUSON, 1983; SILVA; BASSO, 1993; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Ou, em situação de déficit de P, raízes de plantas, associadas a microrganismos, podem exsudar fosfatases na rizosfera para acelerar a hidrólise de P orgânico, tornando-o em P inorgânico biodisponível (TARAFDAR; CLAASSEN, 1988; NOVAIS; SMYTH, 1999; DAS et al., 2014).

O estudo da atividade da fosfatase para algumas espécies vegetais é útil para diagnose nutricional, prevendo a deficiência de P antes de o surgimento do sintoma visual na planta (BESFORD, 1979; DAS et al., 2014). Por conseguinte, é também de interesse especial para a avaliação da fertilidade do solo, o estudo da biodisponibilidade de P orgânico no solo mediada por um arranjo de enzimas, as fosfatases ácidas e/ou básicas, associadas com raízes e microrganismos do solo (TARAFDAR e CLAASSEN, 1988; NOVAIS; SMYTH, 1999; DAS et al., 2014). Sobretudo, de acordo com Silva; Basso (1993), a análise de correlações entre parâmetros biométricos e atividade de fosfatase pode auxiliar no diagnóstico inicial do estado nutricional de P em plantas.

2.2.3 Concentração de nutrientes na planta

O conhecimento dos aspectos nutricionais de espécies nativas da Amazônia é ferramenta importante para compreender o estabelecimento destas em solos de baixa disponibilidade nutricional (CLINEBELL et al., 1995; SANTOS et al., 2008a; TUCCI et al., 2011). E, a concentração de nutrientes no tecido vegetal, em geral, é uma resposta à adição de nutrientes ao substrato, porém ela não é uma função direta da disponibilidade de nutrientes no substrato (solo) (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; ANDERSEN et al., 1995; PEUKE, 2010). A proporção dessas respostas estará em função de diversos fatores: espécie de planta, ocorrência

ou não de condições adversas durante a formação da muda, práticas de manejo; entre outros (ANDERSEN et al., 1995).

2.3 Composição química do fluido do xilema

De acordo com Marschner (2012), o transporte a longa distância de solutos no fluido do xilema e do floema também é importante para: i) a nutrição da parte aérea da planta; ii) a redistribuição de nutrientes entre tecidos durante a ontogênese; iii) a manutenção do balanço de cargas nas folhas de plantas alimentadas com nitrato; iv) a remoção de elementos tóxicos dos tecidos das folhas, e v) do sistema de sinalização do estado nutricional da planta. Assim, a composição do fluido do xilema e a concentração dos elementos e solutos orgânicos no fluido do xilema são dependentes de fatores como: espécies de plantas, suprimento de nutrientes (elementos) para as raízes, assimilação de nutrientes nas raízes e reciclagem dos mesmos (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; ANDERSEN et al., 1995).

Uma maior disponibilidade de nutrientes pode ou não se traduzir diretamente em melhoria da absorção e/ou nutrição da planta (ANDERSEN; BRODBECK, 1991). Os sinais de *feedback* da parte aérea podem regular o fluxo de íons no fluido do xilema (CLARKSON, 1986; EPSTEIN; BLOOM, 2006) e, similarmente, a absorção de íons pelas células da epiderme da raiz pode ser mediada pelo fluxo de íons para o xilema (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Pesquisadores têm proposto que a composição química do fluido do xilema pode servir como um indicador do estado nutricional da planta (CLARK et al., 1986; ANDERSEN; BRODBECK, 1991; ANDERSEN et al., 1995; BALAL et al., 2011). Entretanto, sabe-se pouco, ainda, sobre a influência da fertilização sobre a química do xilema para a maioria das espécies (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; BALAL et al., 2011). Além disso, experimentos que tratam da absorção seletiva de íons e da síntese de compostos orgânicos encontrados no fluido do

xilema indicam que as respostas à fertilização variam com as espécies e fenologia da planta (CLARK et al., 1986; CLARKSON, 1986; ANDERSEN et al., 1995; BALAL et al., 2011).

Os vasos do xilema servem como a maior estrutura condutora para a entrega de íons inorgânicos e certos compostos orgânicos para os tecidos da planta (MARSCHNER, 2012). O fluido do xilema é extremamente diluído (isto é, 90 % de água) e consiste primariamente de amino ácidos, ácidos orgânicos e íons inorgânicos (CLARK et al., 1986; ANDERSEN; BRODBECK, 1991; MARSCHNER, 2012). Entretanto, mesmo que a concentração de solutos no fluido do xilema seja baixa, uma grande quantidade de solutos é transportada nele devido a uma também grande quantidade de água tipicamente transpirada pelas plantas mesofíticas (EPSTEIN; BLOOM, 2006, TAIZ; ZEIGER, 2009).

Todavia, apesar da importância do fluido do xilema para o estado nutricional da planta e a fisiologia da folha, como também da parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012), tem havido relativamente poucas tentativas para caracterizar a influência do estresse ambiental sobre a química do fluido do xilema (ANDERSEN et al., 1995; BALAL et al., 2011). Sobretudo, não se sabe com que extensão os compostos químicos derivados do fluido do xilema contribuem com mudanças induzidas pelo estresse ambiental no perfil químico do tecido foliar (ANDERSEN et al., 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006, TAIZ; ZEIGER, 2009; BALAL et al., 2011).

2.3.1 Concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema

De acordo com Marschner (2012), a concentração de ácidos orgânicos no fluido xilema depende primariamente da taxa de absorção entre cátions e ânions na raiz e a forma de suprimento de N. Trabalhando com ameixa e murta, Andersen et al. (1995), concluíram que a maior mudança na composição química do fluido do xilema, em resposta ao estresse de água, ocorreu na concentração de ácidos orgânicos, considerando que os aminoácidos foram os mais

estáveis. Além disso, as concentrações de ácidos orgânicos aumentaram no tecido foliar como consequência do déficit de água (OSMOND, 1978; TIMPA et al., 1986). Ácidos orgânicos acumulam durante a redução de nitratos e facilitam o balanço iônico durante o excesso de absorção de cátions (TIMPA et al., 1986; WHITE, 2012).

2.3.2 Transporte de nutrientes no fluido do xilema

N está mais presente no fluido do xilema em sua forma inorgânica, apesar de aminoácidos e amidas também serem observados (PEUKE, 2010). Similarmente, os fosfatos e sulfatos são as formas dominantes de P e S no fluido do xilema. Ca, Mg, Mn e Zn são transportados, provavelmente, no fluido do xilema como complexos com os ácidos orgânicos (WELCH, 1995; WHITE; BROADLEY, 2005).

O transporte de B é regulado em resposta ao seu status na planta, para assegurar que concentrações apropriadas dele são mantidas na parte aérea (WHITE; BROADLEY, 2005). No caso do K, normalmente ocorre uma mobilidade muito alta entre o floema e xilema para o seu transporte (MARSCNHER, 2012) em função de alguns fatores internos e externos (BALAL et al., 2011). Fe é transportado principalmente como Fe^{3+} - citrato (WELCH, 1995; von WIRÉN et al., 1999, apud MARSCNHER, 2012) e, Zn é transportado como um complexo de histidina; além disso, ocorre o transporte de Cu, Mn e Ni como complexos com nicotinamidas no fluido do xilema (von WIRÉN et al., 1999, apud MARSCNHER, 2012).

Porém, vale lembrar que durante o transporte da raiz para as folhas em vasos não-vivos do xilema, interações importantes têm lugar entre os solutos e, entre ambas as células das paredes dos vasos e células parenquimáticas, ao redor no xilema. As maiores interações são as trocas de cátions polivalentes adsorvidos nas paredes das células e, a absorção e liberação de elementos e solutos orgânicos pelas células vivas (parênquima do floema e do xilema) (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

3 CAPÍTULO I:
FÓSFORO: EFEITOS SOBRE PARÂMETROS BIOMÉTRICOS
E FISIOLÓGICOS DE MOGNO

RESUMO

Embora o mogno (*Swietenia macrophylla* King) seja uma das mais valiosas espécies de madeira, as informações sobre a influência do fósforo (P) na sua nutrição e desenvolvimento são incipientes. Em condições de casa de vegetação, avaliou-se os efeitos de quatro doses de P (0; 1; 10 e 100 kg ha⁻¹) sobre parâmetros biométricos e fisiológicos. O aumento das doses de P, elevou os parâmetros de crescimento da parte aérea, os conteúdos de C, N, P e, as concentrações de macronutrientes e Mn em folha; enquanto a eficiência de utilização de P, as concentrações de B e Cu em folha e, a concentração da maioria dos ácidos orgânicos no fluido do xilema decresceram. Entretanto, não foi verificado efeito sobre o crescimento de raiz, as concentrações foliares de Zn e Fe, e a atividade de fosfatase de raiz, mas detectou-se correlações inversas entre essa, os parâmetros de crescimento e as quantidades acumuladas de N e P em folha, caule e raiz. Em geral, doses crescentes de P melhoram a formação das mudas.

Palavras chave: *Swietenia macrophylla* King. Fertilização fosfatada. Parâmetros biométricos. Parâmetros fisiológicos.

ABSTRACT

Although mahogany (*Swietenia macrophylla* King) is one of Brazil's most valuable woody species, there is little information concerning how phosphorus (P) influences nutrition and development of this species. In this study, we examined the effects of four P treatments (0, 1, 10 and 100 kg ha⁻¹) on biometric and physiological parameters of mahogany seedlings. Shoot growth parameters, C, N and P contents and the concentration of macronutrients and Mn in leaves increased in response to higher P treatments. Phosphorous utilization efficiency, B and Cu concentrations in leaves and concentrations of most organic acids in xylem fluid decreased with increasing P treatments. Treatments did not alter the growth of roots, Zn and Fe concentration in leaves and root phosphatase activity. Inverse correlations existed between root phosphatase activity and growth parameters as well as leaf, stem and root nutrient (N and P) accumulation. Higher P treatments had an overall positive impact on seedling formation.

Keywords: *Swietenia macrophylla* King, phosphorus fertilization, biometric parameters, phosphorus utilization efficiency, roots phosphatase activity, organic acids in xylem fluid.

3.1 Introdução

A proposta primária de viveiros florestais é a produção de mudas de qualidade para reflorestar e formar novas florestas (FOCHO et al., 2011). A melhoria da fertilidade do substrato usado em viveiros é essencial para garantir a produção de mudas de alta qualidade (TUCCI et al., 2011; FOCHO et al., 2011). Na região tropical, a fertilização fosfatada é muito importante, pois o declínio da fertilidade natural do solo nesta tem sido apontado como o maior obstáculo para a produção das espécies (STOORVOGEL; SMALING, 1998; HARTEMINK, 2006).

O mogno é uma espécie que produz madeira de cor avermelhada e com características físicas superiores. Tem sido por séculos, uma das mais valiosas espécies comerciais de madeira nas áreas neotropicais (WEAVER; SABIDO 1997; SHONO; SNOOK, 2006). Como a depleção de populações de mogno tem preocupado o futuro de seu comércio, a produção de mudas de qualidade, visando plantios comerciais, é uma alternativa para a produção sustentável dessa espécie (WEAVER; SABIDO, 1997).

A taxa de sobrevivência, associada ao crescimento na área de plantio, é a melhor medida de qualidade para produção de mudas (DICKSON et al., 1960). A qualidade das mudas na época do transplântio pode ser embasada em características de crescimento morfológicas e/ou fisiológicas (DICKSON et al., 1960; SIDDIQI; GLASS, 1981).

A eficiência de utilização do nutriente absorvido é, talvez, tão importante quanto à absorção, e o desenvolvimento da planta (SIDDIQI; GLASS, 1981). O P, em condições tropicais, é normalmente absorvido pelas plantas na forma de $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ (NOVAIS; SMYTH, 1999), entretanto, vastas regiões de solos tropicais contêm baixas concentrações de P-inorgânico (Pi) biodisponível. Contudo, frequentemente esses solos contêm consideráveis quantidades de compostos com P-orgânico (Po) (CLINEBELL et al., 1995; NOVAIS; SMYTH,

1999).As plantas podem usar fontes de Po com a mesma eficiência de fontes de Pi, ao hidrolisar Po, para obter Pi (TARAFDAR; CLAASSEN, 1988; NOVAIS; SMYTH, 1999). Portanto, é fundamental avaliar a biodisponibilidade do Po no solo mediada por enzimas associadas com raízes e microrganismos do solo, como as fosfatases (NOVAIS; SMYTH, 1999; MARSCHNER, 2012; DAS et al., 2014). Embora a determinação de atividade de fosfatase em raiz seja rápida, de fácil execução, baixo custo e com ampla utilidade (DAS et al., 2014), não foram encontradas referências sobre a atividade de fosfatase de mogno, como observado para outras espécies por Kroehler; Linkins (1988); Macfall; Slack (1991); Bovi et al. (1998); Maia-Almeida et al. (2008); Oliveira; Carvalho (2011); Rosolem et al. (2014); Das et al. (2014).

O nível de fertilização de determinado nutriente no substrato influencia na sua disponibilidade, segundo Novais; Smyth (1999) e Malavolta (2006); e, conseqüentemente, na sua absorção e transporte pela planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Desse modo, o conhecimento das interações envolvendo o transporte de solutos no fluido do xilema, por exemplo: nutrientes e ácidos orgânicos (PEUKE, 2010), especialmente sob a influência de níveis de fertilização de determinado (s) nutriente (s), também pode auxiliar na avaliação do estado nutricional da planta (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; BALAL et al., 2011).

A investigação da influência de doses de P nos processos de absorção, transporte e uso do P pode contribuir na produção de mudas de qualidade, com menores custos (VASQUEZ-PINEDO et al., 2001). Estes resultados também podem somar para o esclarecimento de como e em que proporções esses processos ocorrem e, são afetados por doses de P (SANTOS et al., 2008b; TUCCI et al., 2011). Assim, objetivou-se avaliar os efeitos de doses de P sobre parâmetros biométricos e fisiológicos na produção de mudas de qualidade de mogno.

3.2 Material e métodos

Aquisição e germinação de sementes

Os frutos de mogno foram coletados em Manaus, Brasil (03° 06' 00" S e 60° 01' 00" W); em maio de 2012. Eles foram secos à sombra, e as sementes foram beneficiadas, tratadas com hipoclorito de sódio (1%), por cinco minutos, e armazenadas a 5°C até a germinação (FOWLER; BIANCHETTI, 2000).

A germinação foi realizada em câmara de crescimento a $27 \pm 3^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$, sendo as sementes depositadas em bandejas plásticas preenchidas com o substrato comercial *peat mix* e, cobertas com um fino tecido branco (FOWLER; BIANCHETTI, 2000; FLORIANO, 2004). Este substrato, cujos resultados de análises estão expressos na tabela 1, também foi usado na formação das mudas.

Tabela 1. Características químicas do substrato *peat mix**

NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Al	pH
----- mg kg ⁻¹ -----												
2,3	0,4	6,4	11,2	7,2	11,3	2,96	0,07	0,02	0,03	0,02	2,49	5,9

*As análises foram realizadas no Sungro Horticultural Services - University of Florida, USA.

Após a germinação, as plântulas foram aclimatadas por 15 dias na casa de vegetação, cobertas com sombrite preto – 50% de iluminação, onde, diariamente, a umidade relativa foi mantida em $70 \pm 10\%$ e a temperatura em $30^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ (FOWLER; BIANCHETTI, 2000; FLORIANO, 2004).

Delineamento e condução experimental

O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados, com seis repetições. Os tratamentos usados foram quatro doses de P, equivalentes a 0, 1, 10 e 100 kg ha⁻¹; tendo como fonte o superfosfato triplo, num total de 24 parcelas experimentais.

Cada parcela era composta por dez plantas cultivadas em vasos individuais de 3,78 dm³, preenchidos com o substrato *peat mix*. O fertilizante fosfatado foi moído antes da pesagem das doses, como recomendado por Tucci et al. (2011).

Todas as parcelas receberam adubação básica⁽¹⁾ com macro e micronutrientes no transplântio, exceto para P. Para o N e o K foram usados 680 e 340 mg L⁻¹, respectivamente, tendo como fonte o Polyon[®] (43% de N-uréia e 59% de K₂O). Para suprir a necessidade de S foi usado o MgSO₄, sendo os Sais de Epson[®] (16,24% de MgO e 13% de S) a fonte, na forma de solução, com a adição de 400 mg L⁻¹. Para os micronutrientes, foram usados 50 mL vaso⁻¹ de solução estoque de FloraMicro[®], no transplântio; e, a cada 15 dias. Esta solução continha, em mg L⁻¹: B = 0,26; Fe = 2,6; Mn = 1,3; Zn = 0,39; Mo = 0,02 e Co = 0,01, além de N = 130; K = 26 e Ca = 130. Cálcio e nitrogênio também foram adicionados como solução 3,0 mM L⁻¹ de nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂.4H₂O], 100 mL vaso⁻¹, a cada quinzena, esta solução continha 509 mg L⁻¹ de Ca e 356 mg L⁻¹ de N.

Selecionaram-se mudas de 5 - 8 cm de altura para o transplântio. A umidade do substrato foi monitorada diariamente, mantendo-se 70% do total de poros preenchidos (CASAROLI; van LIER, 2008) pela pesagem dos vasos. O experimento foi conduzido no período de 20 de maio a primeiro de agosto de 2013.

Quantificação dos parâmetros biométricos

As plantas foram colhidas aos 73 dias após o transplântio e, mediu-se: altura da planta (H), diâmetro do colo (D), área foliar (AF), massa seca de raízes (MSR), caules (MSC) e folhas (MSF), separadamente e, massa seca total (MST). A H foi medida da área da base à gema apical. O D foi medido a um cm da superfície do substrato; para a AF (cm²) usou-se um medidor

⁽¹⁾A orientação para a adubação básica foi obtida com a Dra. Mackowiak: echo@ufl.edu (comunic. pessoal).

portátil (modelo Licor-300 Lambda Instrumental Corporation) e, as medidas de AF foram tomadas de três plantas escolhidas ao acaso nas parcelas.

As raízes foram separadas usando água e uma peneira de 2,0 mm de abertura. A parte aérea foi lavada em água e, depois folhas e caules foram separados; raízes, caules e folhas foram secos em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até peso constante. Após seco e moído (moinho Thomas Scientific – modelo 3375 – E15) separadamente, a MST (g) foi determinada somando MSR (g), MSC (g) e MSF (g), e a da parte aérea (MSPA) (g), somando-se MSC e MSF. Os índices de qualidade de mudas avaliados foram: a razão H/D (cm/mm) e o índice de qualidade de Dickson (IQD), estimado pela fórmula: $IDQ = MST / (H/D + MSPA/MSR)$ (DICKSON et al., 1960).

Avaliação do estado nutricional

Com os resultados de concentração de C, N e P em raiz, caule e folha obtidos pelo método de Embrapa (1999), estimou-se os conteúdos destes elementos, com base na massa seca (MS) (g). Para as determinações de concentrações foliares de nutrientes: o N foi determinado pela técnica da combustão, num analisador elementar (Leco FP528 CHN). Uma alíquota de 0,50 g de tecido foliar seco foi digerido em HNO₃ concentrado em bloco digestor (BRODBECK et al., 2001). No extrato digerido, os demais macros e micronutrientes (B, Zn, Mn, Fe e Cu) foram determinados pelo método ICP (Inductively Coupled Plasm) (Official methods of analysis of AQAC International, 1980).

A partir dos valores de MS (g) e, dos valores estimados do conteúdo de P (CP) (mg) em raiz, caule e folha, foram calculados os índices de eficiência de utilização de P (EUP) para cada um desses órgãos, sendo: $EUP = MS^2/CP$ (g² mg⁻¹) (SIDDIQI; GLASS, 1981).

Estimativa da atividade de fosfatase ácida de raiz

A atividade de fosfatase ácida (E.C.3.1.3.2) de raiz foi adaptada de Das et al. (2014). As raízes foram aleatoriamente selecionadas em cada parcela experimental, fazendo-se um bloco completo por dia. Foram feitas as seguintes modificações: 3 - 6 cm (20 - 60 mg) de raízes foram cortadas. As amostras foram incubadas por 4 h a 30°C, tendo o *p*-nitrofenilfosfato como fonte de Po. As determinações quantitativas de Po mineralizado foram obtidas com a análise de Pi, produzido no sistema. O método de Murphy; Riley (1962) ($\lambda = 880 \text{ nm}$) foi usado para a determinação de Pi, com o limite de detecção de 0,004 mg L⁻¹.

Estimativa de ácidos orgânicos no fluido do xilema

A coleta do fluido do xilema foi realizada conforme Andersen et al. (1993), usando-se um número de plantas suficientes para se obter 1,5 mL de amostra, em cada parcela experimental. Entre 10:00 e 12:00 h, as amostras do fluido - um bloco completo por dia - foram coletadas em ordem crescente de tratamentos, com 0,25 MPa acima da tensão, por 30 s, por planta. As primeiras duas gotas exsudadas foram descartadas. As amostras foram armazenadas em - 20°C. Os ácidos oxálico, cítrico, tartárico, málico, succínico e lático no fluido do xilema foram determinados por cromatografia de troca catiônica, em um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; ANDERSEN et al., 1995).

Análise estatística

Foi realizada usando o programa SAEG, versão 9.1 (SAEG, 2007). Os efeitos de tratamentos foram estatisticamente avaliados pela comparação de médias, usando o teste Tukey ($p < 0,05$), e os gráficos obtidos no programa Sigma Plot 12.0.

3.3 Resultados e discussão

O resumo da análise de variância dos parâmetros avaliados está expresso nas tabelas de 1A a 1F. Adição de P ao substrato afetou alguns destes parâmetros e, outros não, conforme será descrito a seguir.

Parâmetros biométricos

Observou-se a influência positiva das doses de P sobre a altura (H) (Figura 1A), o diâmetro (D) (Figura 1B), a área foliar (AF) (Figura 1C), a massa seca de caule (MSC), folha (MSF), exceto de raiz (MSR) (Figura 2D), parte aérea (MSPA) e total (MST) (Figura 2C). Os índices de qualidade: H/D (Figura 2A) e IQD (Figura 2B) também foram afetados positivamente.

A aplicação de fertilizante estimula a diferenciação e multiplicação celular levando a aumentos em altura (MALAVOLTA, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009). A maior dose (100 kg P ha⁻¹) promoveu maior crescimento em altura (H) (Figura 1A). Resultados similares foram registrados para mudas de mogno (*Swietenia macrophylla*) (SANTOS et al., 2008b; SOUZA et al., 2010) e mogno africano (*Khaya ivorenses* Chev.) (FOCHO et al., 2011). Em outros estudos, que testaram a mesma espécie deste estudo, não observaram influência da fertilização com P na H da planta (SILVA et al., 2011; TUCCI et al., 2011).

O D também é usado como uma boa medida da performance das mudas no campo (TSAKALDIMI et al., 2013). A sobrevivência de mudas de *Pinus halepensis* e *Pistacia lentiscus* foi positivamente correlacionada com o D (TSAKALDIMI et al., 2013). Na ausência de aplicação de P, observou-se o menor valor de D, porém este tratamento foi igual à aplicação da dose equivalente a 1 kg P ha⁻¹ (Figura 1B). Resultados similares foram registrados para mudas de mogno (SANTOS et al., 2008b; SOUZA et al., 2010). Isso provavelmente ocorreu porque a fertilização adequada estimulou a formação de proteínas, rápida divisão e

diferenciação celular, resultando em aumento do D (TAIZ; ZEIGER, 2009). Porém, em outros trabalhos, também com mudas de mogno, (SILVA et al., 2011; TUCCI et al., 2011) as doses de P não afetaram essa característica.

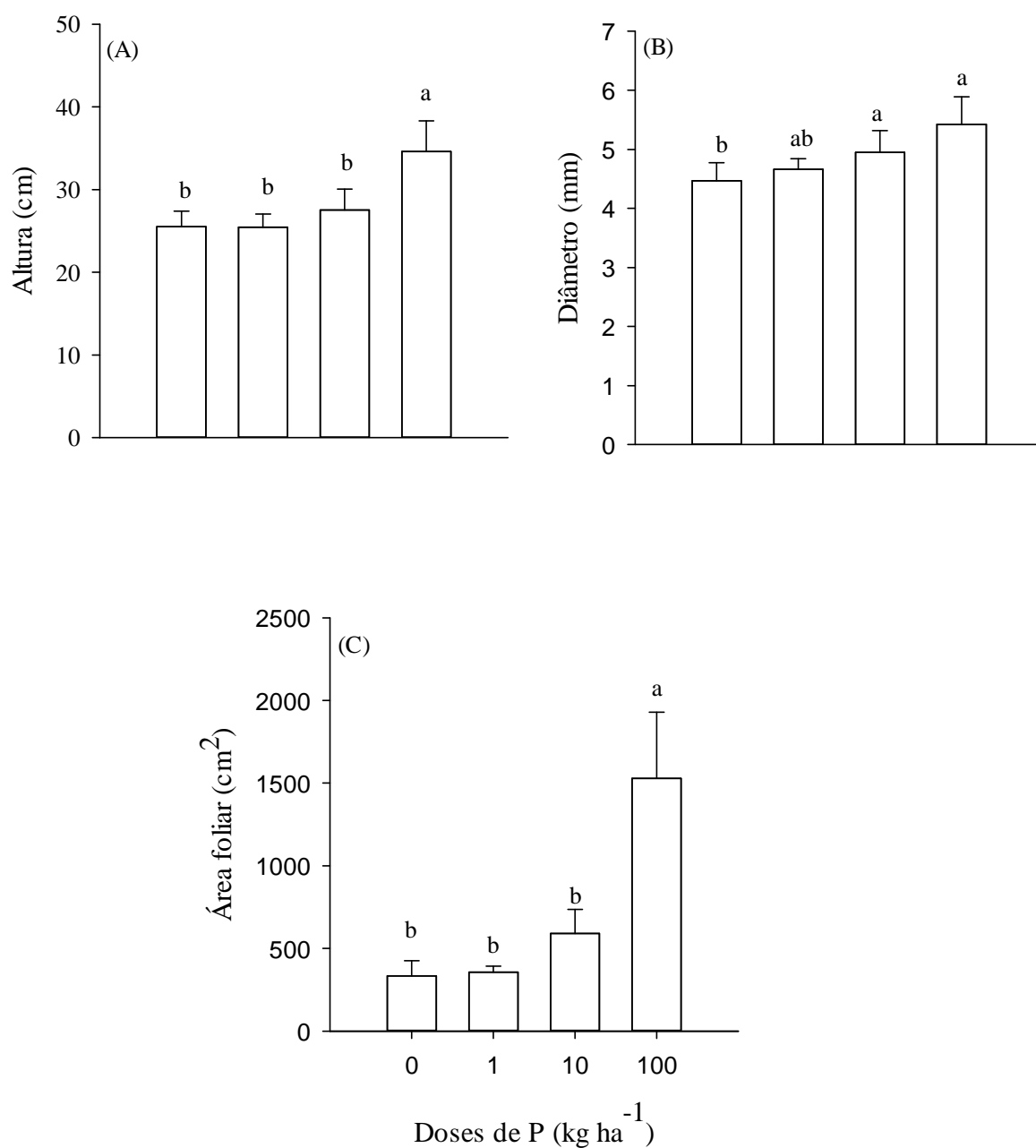


Figura 1. Efeitos de doses de P sobre parâmetros de crescimento de mogno.

Aumentos das doses de P aumentaram a área foliar (AF). A dose mais elevada promoveu o maior aumento em AF (Figura 1C), como observado em mudas de mogno africano (FOCHO et al., 2011) e sansão-do-campo (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) (COSTA FILHO et al., 2013). Em geral, plantas com maior AF podem fazer mais fotossíntese, e assim tornarem-se mais resistentes e produtivas (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

A massa seca da parte aérea (MSPA) é um bom parâmetro para avaliar a qualidade de mudas em viveiro (TSAKALDIMI et al., 2013). A adição de doses de P aumentou a MSF e MSC (Figura 2D), mas não a MSR (Figura 2D e Tabela 1A), como observado em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), grandiúva (*Trema micranta* (L.) Blume) e pinho-cuiabano (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) (SOUZA et al., 2009; CAIONE et al., 2012). A aplicação de doses equivalentes a 10 e 100 kg de P ha⁻¹ resultaram em aumentos na produção de MSF, porém apenas a maior dose promoveu o maior aumento de MSC (Figura 2D). Nesse estudo, apenas a produção de MSR (2D e Tabela 1A) não foi afetada pelas doses de P, porém, em outros dois estudos com mogno, as doses de P não afetaram a produção de MSPA, nem de MSR (SILVA et al., 2011; TUCCI et al., 2011). Mas, em outro estudo com mogno, as doses de P promoveram o aumento não apenas da produção de MSPA como também de MSR (SANTOS et al., 2008b).

Os tratamentos com P influenciaram positivamente os índices de qualidade de muda: H/D e IQD. Os valores H/D e IQD, respectivamente, menor 10 e maior que 0,2 são considerados como referência para a classificação de qualidade de mudas (DICKSON et al., 1960; CARNEIRO, 1995; JOSÉ et al., 2009). Os valores de H/D foram menores que 10 independentemente das doses de P (Figura 2A), considerando as referências. A mesma tendência ocorreu para o IQD, com valores maiores que 0,2, para todas as doses de P (Figura 2B). Como o aumento das doses de P não aumentou a produção de MSR (Figura 2D), o aumento na produção de MST (Figura 2C) foi devido ao aumento na produção de MSPA (Figura 2C).

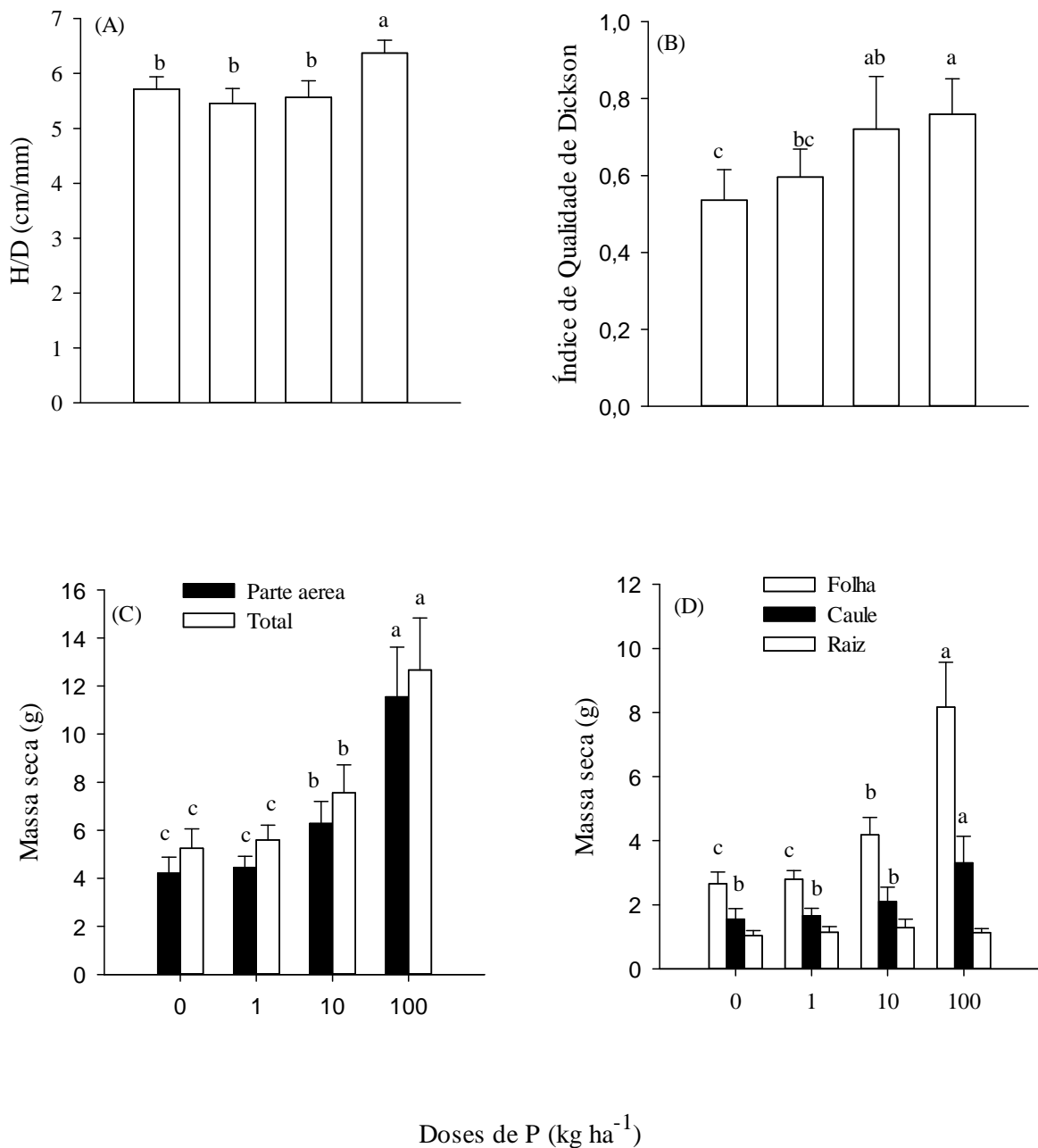


Figura 2. Efeitos de doses de P sobre a produção de massa seca e dois índices de qualidade de muda em mogno.

Além disso, os baixos valores da razão MSPA/MSR (Tabela 1A), bem como os da razão H/D sempre menores que 10 (Figura 2A), resultaram em valores de IQD (Figura 2B) que classificam essas mudas como de alta qualidade (DICKSON et al., 1960), desde o tratamento testemunha (não aplicação de P) até a maior dose.

Por outro lado, doses de P, variando entre 0 e 400 kg P₂O₅ ha⁻¹, aplicadas para produzirem mudas de mogno, não afetaram os valores de IQD (Tucci et al., 2011). Ao comparar os resultados de Tucci et al. (2011), com mogno (*Swietenia macrophylla* King), e de Rossa et al. (2014), com pau d'álho (*Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms), com os obtidos (Figura 2B), sugere-se que mudas de mogno podem atingir IDQs adequados, mesmo em condições de moderada fertilização fosfatada (equivalente a 10 kg P ha⁻¹).

Embora o IQD seja um bom indicador da qualidade de mudas (DICKSON et al., 1960; CAIONE et al., 2012), outros parâmetros de crescimento isolados, ou conjuntamente, também devem ser considerados para se fazer a classificação correta. Neste estudo, o tratamento testemunha resultou nos menores valores de AF e de MSF (Figuras 1C e 2D), mesmo apresentando adequado IQD (Figura 2B). Porém, valores baixos de AF (área fotossintética) (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012) podem comprometer a sobrevivência da muda no campo (COSTA FILHO et al., 2013; FOCHO et al., 2013; ROSSA et al., 2014).

Conteúdo de nutrientes

As doses de P influenciaram diferentemente os conteúdos de C, N e P na planta. A dose mais elevada de P proporcionou os maiores conteúdos, exceto para o conteúdo de C em raiz e caule (Figuras 3A, 3B e 3C). O conteúdo de C em folha, na maior dose (Figura 3A), corrobora os resultados encontrados para MSF (Figura 2D) e AF (1C). Os elementos C, H e O constituem, em geral, mais de 90% da massa seca (MS) de plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MARSCHNER, 2012), assim o aumento do conteúdo de C em folha está estritamente relacionado ao aumento da produção de MS em folha e, com a maior AF (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

Nas maiores doses de P, folha e caule de mogno acumularam as maiores quantidades de N e P (Figuras 3A e 3B e Tabela 1C). Além disso, para o P, provavelmente, a planta de mogno armazenou P inorgânico (Pi) no vacúolo das células quando a dose fornecida foi elevada (equivalente a 100 kg P ha⁻¹) (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Algumas plantas, quando em condições favoráveis, armazenam o máximo possível de Pi no vacúolo para utilizá-lo em condições de limitação (LYNCH; HO, 2005). Neste caso, o P pode ser armazenado na forma de íon negativo, cooperando no balanço intracelular de cargas (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

Quanto ao N, parece que a maior parte absorvida foi carregada no fluido do xilema e assimilada no caule e na folha, e uma menor fração permaneceu na raiz (Figura 3B) (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Brondani et al. (2008) encontraram resultados similares em mudas pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link). Provavelmente porque, após a absorção de N, o gasto energético da planta (em esqueletos de C e ATP) para a assimilação de N em caules e folhas (órgãos verdes) é muito menor que em raiz (órgão não verde) (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). O aumento das doses de P também influenciou positivamente com a maior translocação de N da raiz para a parte aérea em mudas de canafistula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert) (SOUZA et al., 2012). Mas, doses de P, variando entre 0 e 400 kg P₂O₅ ha⁻¹, não afetaram os valores de conteúdos de N e P na parte aérea ou mesmo de raízes de mudas de mogno (TUCCI et al., 2011). Todavia, doses variando entre 11 e 110 mg P dm³, promoveram efeito positivo sobre o acúmulo de N e P na parte aérea de mudas de mogno (CARDOSO et al., 2015). Em duas espécies climácicas: guanandi (*Calophyllum brasiliensis* Camb.), e óleo-de-bálsamo (*Myroxylon peruiferum* L. f.), o aumento de doses de P não afetou o conteúdo de P na parte aérea; embora tenha afetado o conteúdo de P em folha de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) (SANTOS et al., 2008a). Isto sugere que as respostas à adição de P podem variar entre as espécies clímax.

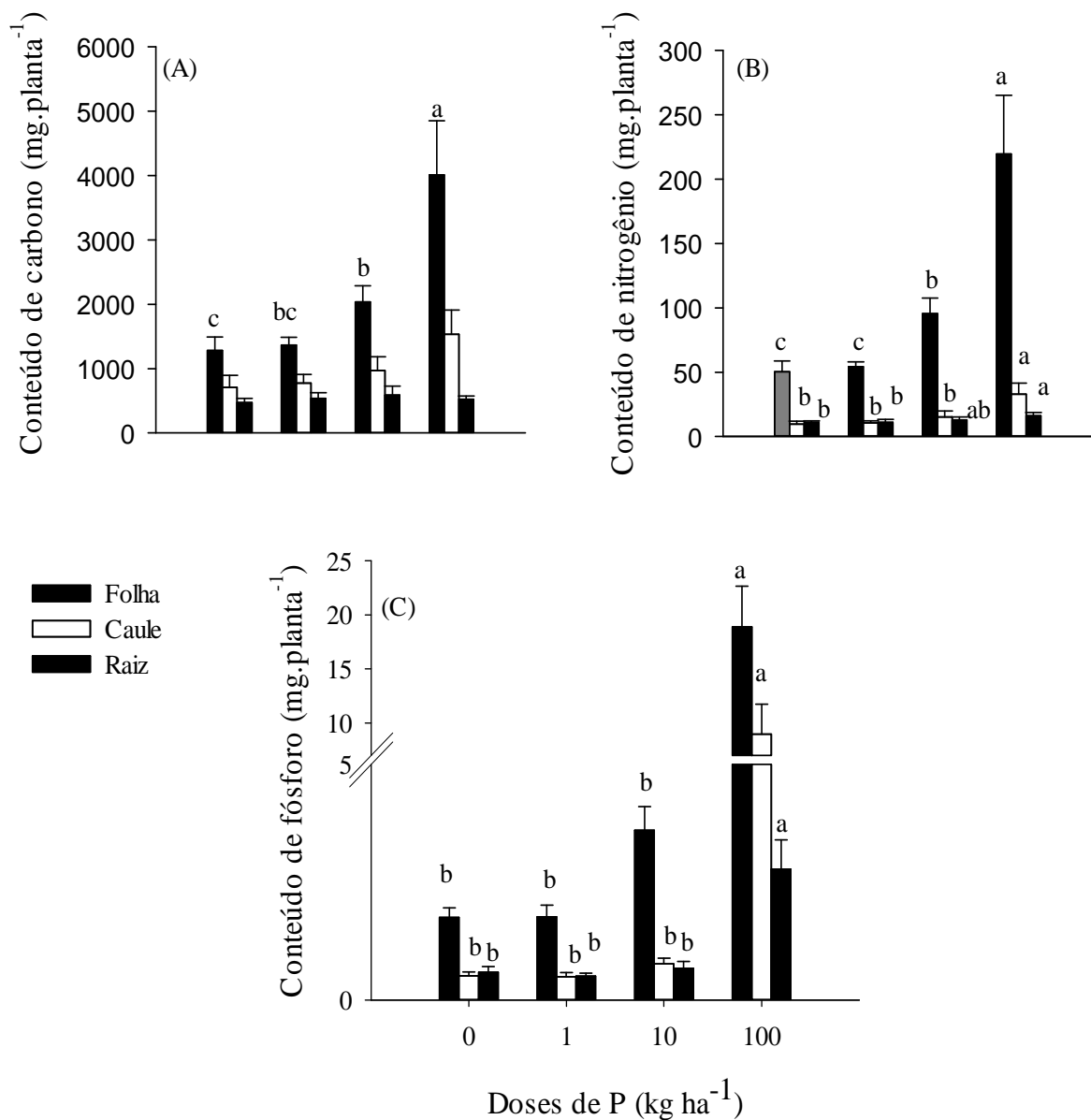


Figura 3. Efeitos de doses de P sobre os conteúdos de C, N e P, em folha, caule e raiz de mogno.

Variações na alocação de P na planta e sua remobilização entre os órgãos são estratégias que as espécies podem desenvolver em função de fatores intrínsecos (espécie-específico) (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012), ou, externos, como: o déficit ou o excesso de P disponível no solo (NOVAIS; SMYTH, 1999; MARSCHNER, 2012). Como o mogno é uma espécie clímax e de crescimento lento (LORENZI, 1998), provavelmente, por isso os resultados

mostram uma tendência de menor conteúdo de N do que de P, na parte aérea da planta (Figuras 3B e 3C), o que pode estar relacionando ao seu tipo de crescimento (lento). Isso ocorre provavelmente devido a uma menor demanda por nutrientes, particularmente N, numa etapa inicial do crescimento para espécies climácicas (SANTOS et al., 2008a; VIEIRA, 2013).

Eficiência de utilização de P

Em geral, o aumento das doses de P promoveu a diminuição dos valores estimados da eficiência de utilização de P (EUP) em toda a planta (Figura 4).

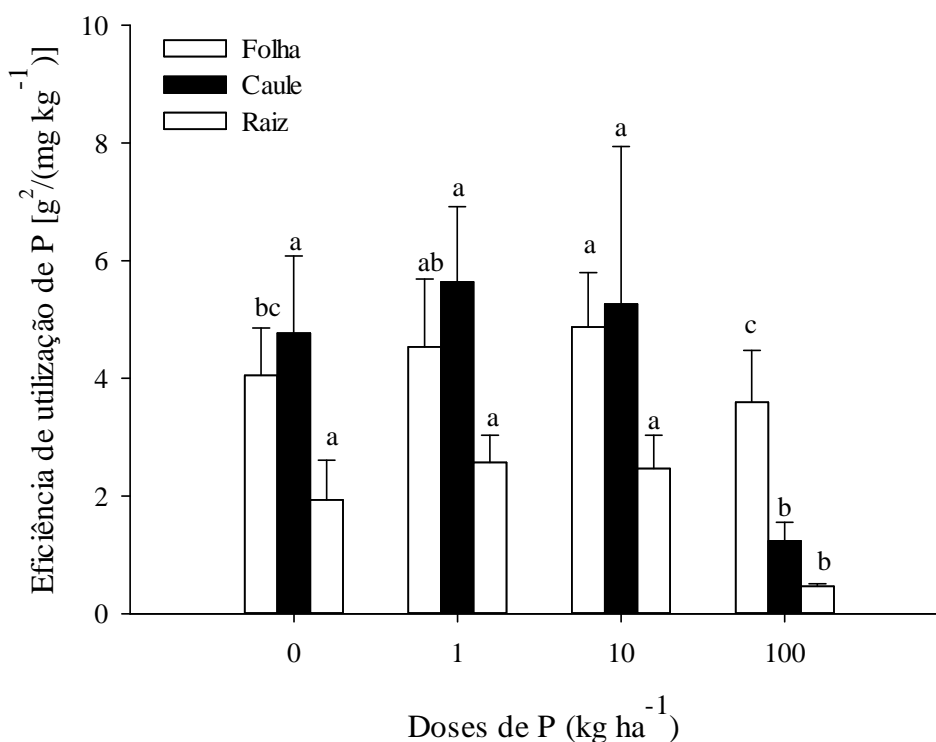


Figura 4. Efeitos de doses de P sobre a eficiência de utilização de P em folha, caule e raiz de mogno.

A maior dose de P ocasionou redução de 12, 75 e 80% nos valores de EUP em folha, caule e raiz, respectivamente (Figura 4 e Tabela 1F), entretanto, a EUP em folhas, e em geral, a produção de MSPA de mudas de jatobá não foram afetadas (SANTOS et al., 2008a). Contudo,

o aumento das doses de P promoveram aumento na produção de MSF (Figura 2D) e redução nos valores de EUP em folha (Figura 4), apesar de o mogno também apresentar crescimento lento (LORENZI, 1998). Para a maior dose de P, ocorreram os menores valores de EUP, em especial, em caule e raiz (Figura 4), isso pode ser resultado de um aumento no conteúdo de P (Figura 3C e Tabela 1C) provavelmente maior, em termos relativos, que o aumento de MS naqueles órgãos (Figura 2D e Tabela 1A). Entretanto, em mudas de canafístula, o aumento das doses de P promoveu o aumento nos valores de EUP e de acúmulo foliar de P (SOUZA et al., 2012), e, isto é oposto ao que foi observado em mudas de pinhão-manso, especialmente na EUP (*Jatropha curcas* L.) (BALOTA et al., 2012)

É provável que a eficiência nutricional da maioria das espécies esteja sob controle genético (BALIGAR et al., 2001; PAULA et al., 2003; TAIZ; ZEIGER, 2009; SOUZA et al., 2012; VIEIRA, 2013), o que pode ser uma das causas de variação dentro do mesmo grupo ecológico (LORENZI, 1998; VIEIRA, 2013). Esse tipo de informação pode fornecer subsídios a programas de melhoramento genético, para identificar materiais promissores para essa característica (PAULA et al., 2003; SOUZA et al., 2012; VIEIRA, 2013); desde que seja considerado o alto grau de variabilidade genética presente em espécies nativas (BALIGAR et al., 2001; VIEIRA, 2013).

Atividade de fosfatase de raízes

Como a atividade de fosfatase é uma característica bastante variável (NOVAIS; SMYTH, 1999; MARSCHNER, 2012; DAS et al., 2014), talvez seja melhor avaliá-la a nível de probabilidade maior que o convencional. Nesse estudo, foi mantido o nível de probabilidade usado para as outras variáveis, e talvez por isso, não houve efeito das doses de P para a atividade de fosfatase ácida de raiz (Figura 5 e Tabela 1F). Na superfície das raízes de um tipo de algodão (*Eriophorum vaginatum* L. subsp. *spissum* (Fern.) Hult.), em floresta de tundra ártica

(KROEHLER; LINKINS, 1988) e de raízes de pinus (*Pinus resinosa* Ait.) (MacFALL; SLACK, 1991) também não foi observado efeito de doses de P nessa característica; entretanto, em mudas de arnica-da-serra (*Lychnophora ericoides* Mart) (MAIA-ALMEIDA et al., 2008), as doses de P reduziram a atividade de fosfatase. Portanto, os poucos estudos com atividade de fosfatase ácida de raiz de espécies nativas são contraditórios.

Na presença de suficiente quantidade de íon fosfato dentro da planta, o mecanismo fisiológico intitulado síntese de “novo”, comum na síntese de fosfatases, é inibido (REID; BIELESK, 1970; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Quando comparada, *Casearia arborea*, uma espécie com baixo potencial de acumular P nos tecidos, com outras duas com maior potencial, a atividade de fosfatase foi ligeiramente superior em *Casearia arborea* (OLIVEIRA; CARVALHO, 2011).

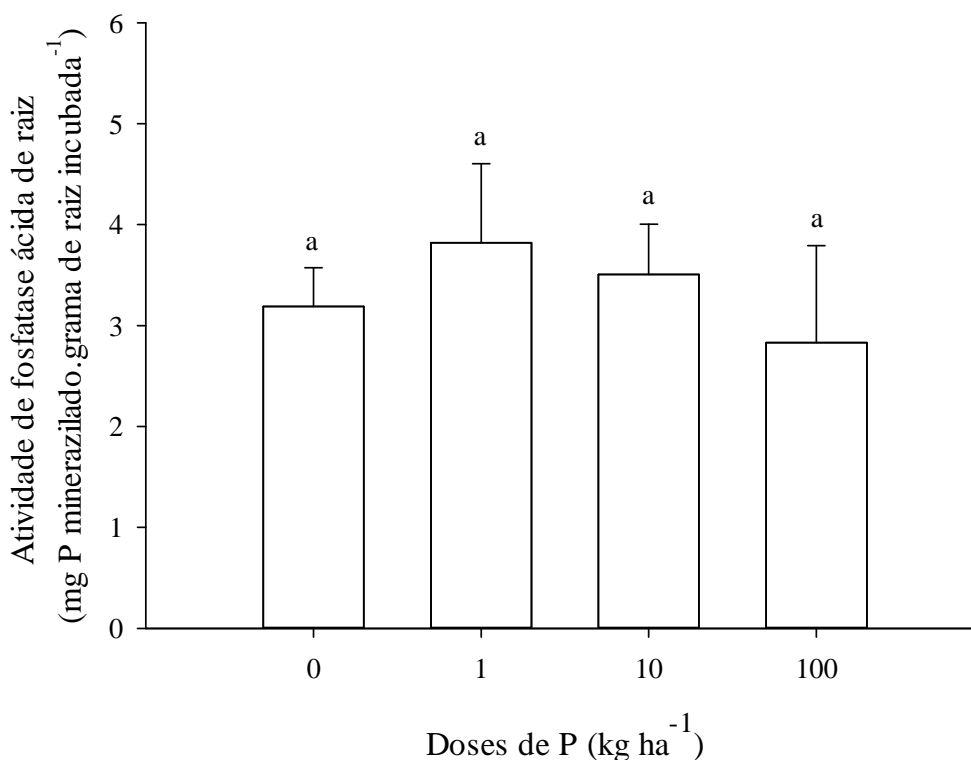


Figura 5. Efeitos de doses de P sobre a atividade de fosfatase ácida de raiz de mogno.

Apesar de a aplicação da maior dose de P ter promovido o maior acúmulo de fosfato na raiz (Figura 3C), mesmo sob essas condições, a atividade de fosfatase não foi afetada (Figura 5 e Tabela 1F). Entretanto, detectou-se correlação significativa e negativa entre a atividade de fosfatase e o crescimento da planta em altura ($r = -0,47$; $p < 0,02$) e AF ($r = -0,47$; $p < 0,02$); e, a quantidade acumulada de P em folha ($r = -0,50$; $p < 0,01$), caule ($r = -0,48$; $p < 0,02$) e raiz ($r = -0,51$; $p < 0,01$), como também para quantidade acumulada de N em folha ($r = -0,47$; $p < 0,02$), caule ($r = -0,48$; $p < 0,02$) e raiz ($r = -0,56$; $p < 0,005$). Isso sugere que a planta se encontra nutrida de P e, por conseguinte, fora da faixa crítica de deficiência desse mineral. Resultados similares foram encontrados para plantas de cana-de-açúcar (SILVA; BASSO, 1993), mudas de arnica-da-serra (MAIA-ALMEIDA et al., 2008) e, em duas progênies de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) (BOVI et al., 1998).

Concentração de nutrientes em folha

A adição de P influenciou a concentração de nutrientes em folha, exceto de Zn e Fe (Figuras 6A, 6B, 6C e 6D). Para macronutrientes e Mn, a dose mais elevada proporcionou os maiores valores de concentração (Figuras 6A, 6B e 6C); exceto para N (Figura 6A), onde doses equivalentes a 10 e 100 kg de P ha⁻¹ respondem igualmente. O aumento das doses de P reduziu as concentrações de B e Cu, no entanto, para o B, o menor valor ocorre na maior dose (Figura 6C e 6D). Resultados similares foram encontrados na parte aérea de mudas de mogno (SOUZA et al., 2010; CARDOSO et al., 2015), exceto para B e Zn, e araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh), exceto para o Cu (MACEDO; TEIXEIRA, 2012). Entretanto, o aumento das doses de P reduziu macro e micronutrientes na parte aérea, exceto P, em mudas de cedro (SOUZA et al., 2009), porém, não influenciou os teores de nutrientes em mudas de araucária (*Araucaria angustifolia* Bert.), e de mogno (SOUZA; CARDOSO, 2002; TUCCI et al., 2011).

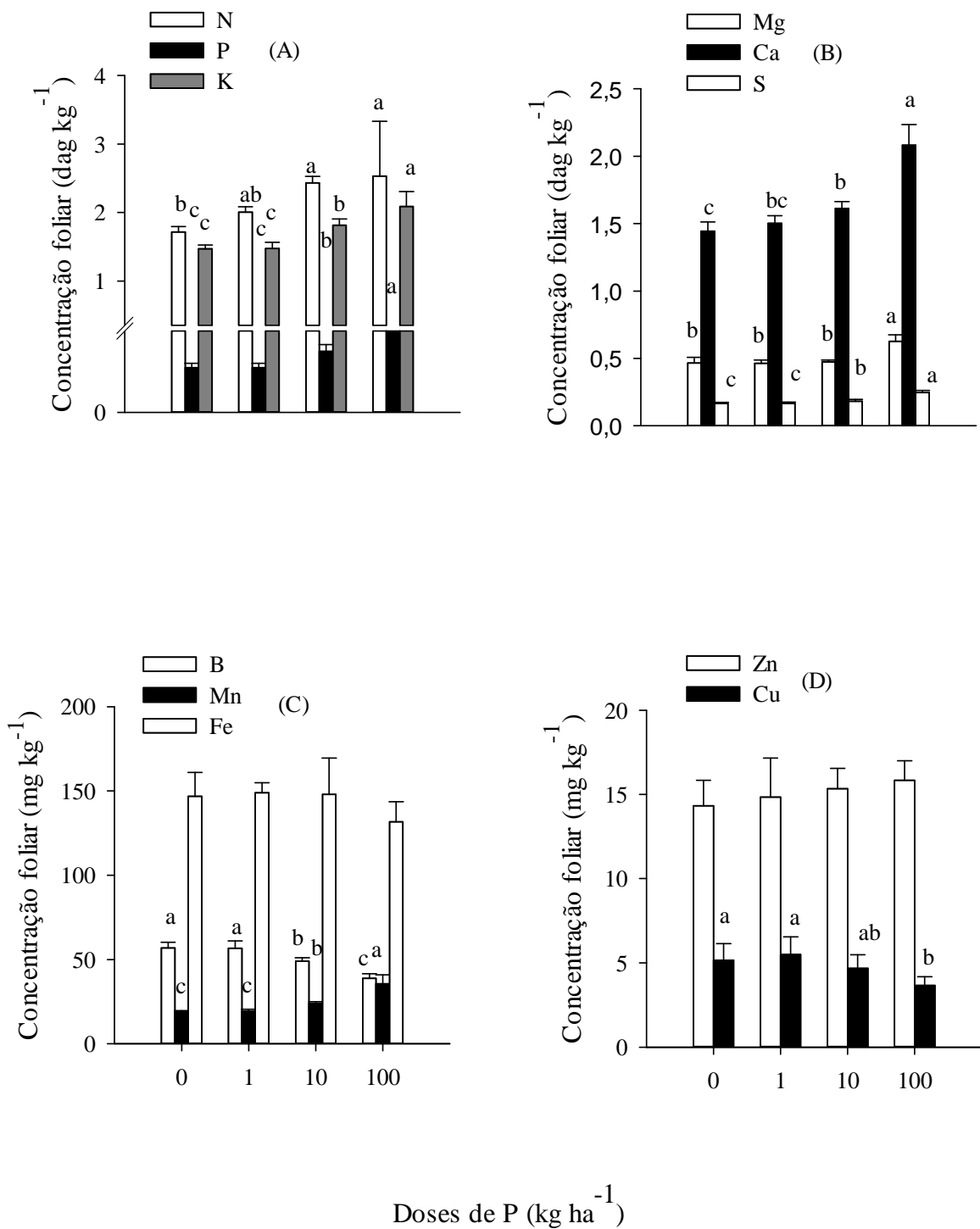


Figura 6. Efeitos de doses de P sobre a concentração de nutrientes em folha de mogno.

Não é bem explicado o processo de absorção de B, mas há quase um consenso que considera um processo passivo de difusão do $B(OH)_3$ através da plasmalema (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006; TAIZER; ZEIGER, 2009). O B é transportado

predominantemente no fluido do xilema na forma de H_3BO_3 (BROWN, 1998 apud MALAVOLTA, 2006). Os processos que controlam o carregamento e a descarga desse elemento no fluido do xilema são provavelmente semelhantes ao da absorção (WELCH, 1995). Sobretudo, tradicionalmente, o B tem sido considerado imóvel na planta, ou seja, não se move das folhas ou de outros órgãos para atender a necessidade de crescimento, podendo ocorrer sintomas de deficiência em tecidos em crescimento, como meristemas vegetativos (BROWN, 1998 apud MALAVOLTA, 2006). Portanto, o decréscimo na concentração de B em folha (Figura 6C), ao aumentar as doses de P, pode ser explicado pela sua relativamente baixa mobilidade na planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006), apesar de apresentar um processo de absorção aparentemente sem gasto de energia e, por isso, se traduzir numa possível facilidade para a aquisição do mesmo, pela planta. Resultando similar foi registrado para mudas de cedro (SOUZA et al., 2009). Todavia, para a mesma espécie deste estudo, o aumento das doses de P promoveram aumento da concentração de B na parte aérea (SOUZA et al., 2010).

As interações negativas entre Zn e os fosfatos em relação à disponibilidade dos mesmos na solução do solo (substrato) (LINDSAY, 1979; NOVAIS; SMYTH, 1999; BRADY; WEIL, 2002) são conhecidas; e, em geral, em consequência disso, a absorção desses elementos e do P pelas raízes das plantas também pode ser afetada (NOVAIS; SMYTH, 1999; BRADY; WEIL, 2002; MALAVOLTA, 2006), mas isso parece não ter afetado a concentração de Zn em folha (Figura 6D). Além disso, como ácido tartárico forma complexos com o Zn (MARCHNER, 2012) e, houve a interação negativa de P x ácido tartárico no fluido do xilema (Figura 7A), era esperado que a concentração de Zn em folha também fosse reduzida (Figura 6D). Sobretudo, como Fe também sofre interações negativas com o P na solução do solo (BRADY; WEIL, 2002; MALAVOLTA, 2006), e com alguns ácidos orgânicos no fluido do xilema (MARCHNER, 2012), esperava-se que ele fosse afetado pelas doses de P, mas não houve efeito no teor foliar

de Fe (Figura 6C e Tabela 1D). Em mudas de araçá-boi, houve antagonismo entre as doses de P e as concentrações foliares de Zn e Fe (MACEDO; TEIXEIRA, 2012).

A maior dose de P aplicada levou à menor concentração foliar de Cu (Figura 6D). Isso ocorreu, provavelmente, porque, segundo Malavolta (2006), há uma tendência para o acúmulo de Cu na superfície do substrato, em função do efeito combinado de matéria orgânica e da adição de adubos e defensivos; assim, isso pode ter sido favorecido porque essas mudas (Figura 13D) foram cultivadas em um substrato orgânico: o *peat mix* (Tabela 1). Resultados similares foram registrados em mudas de cedro (SOUZA et al., 2009) e de araçá-boi (MACEDO; TEIXEIRA, 2012), todavia cultivadas em Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo Distrófico, respectivamente. Mas, em outra pesquisa, com mudas da mesma espécie deste estudo, cultivadas em Latossolo Amarelo Distrófico, o aumento das doses de P promoveu maior acúmulo de Cu na parte aérea (CARDOSO et al., 2015).

Quando o suprimento de Mn é adequado, ele acumula-se em raízes, caules e folhas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Na dose mais elevada de P ocorreu o maior valor na concentração de Mn em folha (Figura 6C). Isso sugere que ele foi suprido adequadamente, com possível acúmulo neste órgão da planta. Porém, o aumento das doses de P reduziu a concentração de Mn na parte aérea de mudas de cedro (SOUZA et al., 2009) e mogno (SOUZA et al., 2010); mas, em outro estudo com mudas de mogno, não teve efeito no conteúdo de Mn na parte aérea (TUCCI et al., 2011).

Valores entre 20 e 35 cm e, entre 5 e 10 mm, respectivamente, para altura e diâmetro, se constituem em boas faixas de valores para levar mudas de espécies florestais nativas ao campo (GONÇALVES et al., 2000). As mudas de mogno apresentam essas medidas para a altura a partir da dose equivalente a 1 kg P ha⁻¹ (Figura 1A) e, para o diâmetro a partir de 10 kg P ha⁻¹ (Figura 1B). Por conseguinte, numa avaliação conjunta dos resultados (Figuras 1A, 1B,

1C, 2B, 2B, 4, 6A, 6B, 6C e 6D e, Tabelas 1A e 1D), sugere-se uma adubação fosfatada a partir de uma dose equivalente a 10 kg P ha⁻¹, para obter mudas de mogno de qualidade. Embora, em função de doses de P, tenha sido verificado grande variabilidade de resposta para a concentração de nutrientes na parte aérea de mudas de mogno (SOUZA et al., 2010; TUCCI et al., 2011; CARDOSO et al., 2015) (Figuras 6A, 6B, 6C e 6D).

Concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema

As doses de P influenciaram as concentrações dos ácidos oxálico, cítrico, tartárico e málico, porém não afetaram as de succínico e láctico, no fluido do xilema (Figuras 7A, 7B, 7C e Tabela 1E). Embora as doses de P não tenham influenciado dois desses ácidos, a concentração total deles foi influenciada (Figura 7C). Isso demonstra que relativamente a maior contribuição no total deles resulta dos ácidos orgânicos afetados pelos tratamentos com doses de P, especialmente o ácido málico, o qual contribuiu com os maiores valores absolutos (Figura 7C e Tabela 1E).

Em estudos com ameixa (*Prunus salicina*) e murta (*Lagerstroemia indica*), Andersen et al. (1995) concluíram que, globalmente, um grau substancial de regulação da química do fluido do xilema ocorreu em resposta a largas mudanças na disponibilidade de água ou nutrientes no solo. Portanto, é possível que algum grau de regulação da química do fluido do xilema em mudas de mogno também tenha ocorrido e, influenciado as respostas encontradas em função das doses de P, desde a concentração de nutrientes em folhas (Figuras 6A, 6B, 6C e 6D) até as concentrações dos ácidos orgânicos no fluido do xilema (Figuras 7A, 7B e 7C); e, em geral, o desenvolvimento da planta (Figuras 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, 4 e 5). A aplicação de solução nutritiva de Hoagland (3x) não alterou a concentração total de ácidos orgânicos no fluido do xilema de *Vitis rotundifolia* Noble e do híbrido Suwannee (*Vitis*); mas foi observado que essa fertilização influenciou o perfil químico do fluido de xilema, sendo os

ácidos orgânicos a classe de compostos orgânicos que mais foi influenciada (ANDERSEN; BRODBECK, 1991).

É possível que as reduções dos ácidos orgânicos, exceto do succínico e láctico, no fluido do xilema (Figuras 14A, 14B e 14C) resultaram dos aumentos nos conteúdos de N e P na parte aérea (Figuras 3B e 3C) e, particularmente das concentrações de N, P e S em folha (Figuras 6A e 6B), em resposta às maiores doses de P, como observado por Andersen; Brodbeck (1991) em espécies de *Vitis*. A forma química predominante de transporte de N no fluido do xilema é o nitrato, apesar de ser encontrado também como aminoácidos e amidas (PEUKE, 2010) e, de P e S são os fosfatos e sulfatos, respectivamente (WHITE, 2012); como consequência, é possível que tenham ocorrido antagonismo, no fluido do xilema, entre as moléculas de H_2PO_4^- , NO_3^- e SO_4^{2-} e, as dos ácidos oxálico, cítrico, tartárico e málico, tal que tenha promovido o aumento no conteúdo desses nutrientes (Figuras 3B e 3C) e na concentração de S (Figura 6B), com simultâneas reduções destes ácidos (Figuras 7A, 7B e 7C e, Tabela 2E). Os sais do tipo: nitratos, fosfatos e sulfatos são derivados de ácidos fortes, portanto apresentam alta constante de dissociação (LINDSAY, 1979), o que os tornam capazes de interagir (talvez competir) com os ácidos orgânicos pelo balanço de cargas do fluido do xilema (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

Esperava-se que a aplicação de doses de P promoveria alguma interação entre a concentração foliar de K (Figura 6A) e a dos ácidos oxálico, cítrico e tartárico no fluido do xilema, por haver a possibilidade de formação de ligações eletrostáticas entre o K^+ e estes ácidos, devido aos grupos carboxílicos presentes neles (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Entretanto, com o aumento das doses de P ocorreram reduções nas concentrações dos ácidos oxálico, cítrico e tartárico no fluido do xilema (Figuras 7A, 7B e 7C), e, no entanto, aumento na concentração foliar de K (Figura 6A). Como existe uma complexa mobilidade entre

o floema e o xilema, característica desse elemento nutriente (K), de acordo com Marschner (2012), resultados podem estar mascarados.

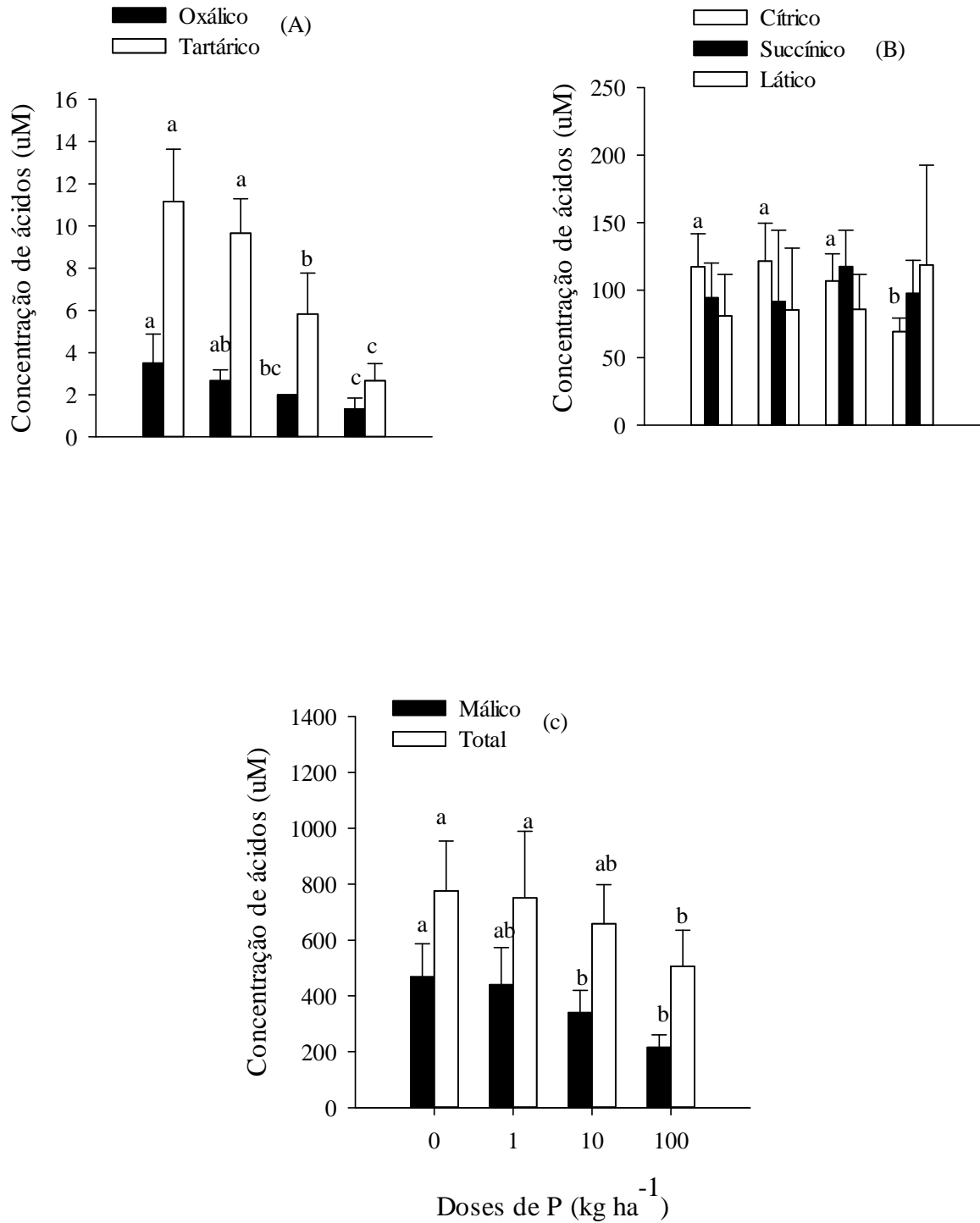


Figura 7. Efeitos de doses de P sobre a concentração de seis ácidos orgânicos no fluido do xilema de mogno.

Em mudas de porta-enxertos de nectarina (*Prunus persica* x *Prunus amygdalus*) e de pêssgo (*Prunus insisititia*; PP 101), submetidas à adubação fosfatada, foi observada maior mobilidade de K no xilema que no floema (BALAL et al., 2011).

Ca, Mg e Mn são predominantemente transportados no fluido do xilema (direção raiz - parte aérea) nas formas de complexos entre eles e ácidos orgânicos (WELCH, 1995; WHITE; BROADLEY, 2003 e 2005; BROADLEY et al., 2007; WHITE, 2012). Portanto, ao avaliar os aumentos nas concentrações de Ca, Mg e Mn em folha (Figuras 6B e 6C) associados aos decréscimos nas concentrações dos ácidos cítrico e málico no fluido do xilema (Figuras 7B e 7C), supõe-se que a formação de complexos entre estes e aqueles, teria exercido a função de cooperar na mobilidade de Ca, Mg e Mn no fluido do xilema. (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Além disso, especialmente, a redução do ácido tartárico na planta pode ter resultado da assimilação de Ca e Mg, durante a qual ocorrem ligações de valência coordenada entre estes nutrientes e o ácido tartárico (TAIZ; ZEIGER, 2009). Entretanto, ao testar doses de P, foram encontradas baixas concentrações de Ca e Mg em folhas de nectarina e de pêssgo, em parte, devido às dificuldades no transporte deles no fluido do xilema (BALAL et al., 2011).

Como as doses de P não influenciaram na concentração de Fe e Zn em folha (Figura 6C e 6D e Tabela 1D), isso indicaria que ambos, como nutrientes no fluido do xilema parecem não ter seguido uma performance semelhante à de outros cátions: Ca, Mg e Mn; o que era previsto, uma vez que a mobilidade de Zn e Fe nessa via de fluxo é facilitada pela formação de complexos com ácidos orgânicos, especialmente o cítrico (WELCH, 1995; von WIRÉN et al., 1999 apud MARSCHNER, 2012; WHITE, 2012) e, as doses de P também afetaram a concentração deste ácido (Figura 7B). Entretanto, o aumento das doses de P resultaram em baixas concentrações de Zn em folhas de pêssgo, devido a sua baixa mobilidade no fluido do xilema (BALAL et al., 2011).

A acidificação da solução do solo pela exsudação de ácidos orgânicos (de raízes) aumenta a solubilidade do Fe^{3+} (LINDSAY, 1979; BRADY; WEIL, 2002; EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006) e, sua consequente absorção pelas raízes (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012), ocasionando um segundo possível componente causador da redução dos ácidos orgânicos, especialmente para as maiores doses de P. Embora, possivelmente, tenha ocorrido redução de ácido tartárico necessário para a assimilação de Fe^{3+} , a acidificação do solo (substrato), pela exsudação de ácidos orgânicos, pode tê-la compensado.

3.4 Conclusões

Doses crescentes de P influenciaram positivamente nos parâmetros de crescimento na parte aérea e na concentração foliar de nutrientes; mas, de forma negativa na concentração da maioria dos ácidos orgânicos no fluido do xilema, os quais alteraram a concentração foliar de nutrientes.

Ao aumentar as doses de P, em geral, houve decréscimo na eficiência de utilização de P na planta como um todo.

Embora as doses de P não tenham influenciado a atividade de fosfatase, foi possível detectar correlações inversas entre ela, parâmetros de crescimento e quantidades acumuladas de N e P em folha, caule e raiz.

Em geral, a aplicação de doses de P melhoram a qualidade de mudas de mogno.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, P. C.; BROBECK, B. V.; MIZEL III R. F. Diurnal variations of amino acids and organic acids in xylem fluid from *Lagerstroemia indica*: an endogenous circadian rhythm. **Physiologia Plantarum**, v. 89, p. 783-790, 1993.

ANDERSEN, P. C.; BROBECK, B.V. ; MIZEL III R. F. Water stress – and nutrient solution – mediated changes in water relations and amino acids, organics acids, and sugars in xylem fluid of *Prunus salicina* and *Lagerstroemia indica*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n.1, p. 36-42, 1995.

ANDERSEN, P. C.; BRODBECK, B.V. Influence of fertilization on xylem fluid chemistry of *Vitis rotundifolia* Noble and *Vitis* hybrid Suwannee. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 42, n.3, p. 245-251, 1991.

BALAL, R. M.; GIMENO, V; SHADI, M. A.; LINDON, V.; GARCIA, A.L.; ABBAS, T.; GARCIA-SHANCHEZ, F., GHAZANFER, U. Effects of phosphorus fertilization on growth, leaf mineral concentration and xylem-phloem nutrient mobility in two rootstocks of prunus (*Prunus persica* x *Prunus amygdalus*) and (*Prunus insistitia*) in the Mediterranean area. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 12, p. 1542-1549, 2011.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 921-950, 2001.

BALOTA, L. B.; MACHINESKI, O.; SCHERER, A. Mycorrhizal effectiveness on physic nut as influenced by phosphate fertilization levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 23-32, 2012.

BOVI M. L. A.; BASSO L. C.; TUCCI M. L. C. Avaliação da atividade “*in vivo*” da fosfatase ácida e do crescimento de progênies de pupunha cultivadas em duas doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 427-434, 1998.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Soil phosphorus and Potassium, chapter 14, p. 592-635, In: **The nature and proprieties of soils**. BRADY, N. C.; WEIL, R. R. 13. ed. New Jersey: Library of Congress Cataloging in-Publication Data. Prentice Hall, 2002. 960 p.

BROABECK, B. V.; STAVISKY, J.; FUNDERBURK, L. E.; ANDERSEN, P. C.; OLSON, S. M. Flower nitrogen status and populations of *Frankliniella occidentalis* feeding on *Lycopersicon sculentum*. **Entomologia experimentalis et applicate**, v. 99, p. 165-172, 2001.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J.P.; ZELKO, I; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist Journal**, v. 173, p. 677-702, 2007.

CAIONE, G.; LANGE, A; SCHONINGER, E. L. Growth of seedlings *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) on substrate fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 213-221, 2012.

CARDOSO, A. A. de S; SANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C.A.F.; FARIAS, E.P.; MOURA, R. P. de M. M. Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial de mogno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 1-10, 2015.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campus: UENF, 1995. 451p.

CASAROLI, D.; van LIER, J. Q. Critérios para a determinação da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 59-66, 2008.

CLINEBELL, R. R.; PHILLIPS, O. L; STARK, N.; ZUURING, H. Prediction of neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. **Biodiversity and Conservation**, v. 4, p. 56-90, 1995.

COSTA FILHO, R.T.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P. Calagem e adubação fosfatada no crescimento de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* (Benth.) em latossolo vermelho-amarelo. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 89-98, 2013.

DAS, J.; COMERFORD, N. B.; WRIGHT, D.; MAROIS, J.; MACKOWIAK, C. Development of a phosphatase activity assay using excised plant roots. **Soil Research**, v. 52, p. 193-202, 2014.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília. 1999. 370 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 404 p.

FLORIANO, E. P. Germinação e dormência de sementes florestais. **Associação de Pesquisa, Educação e Proteção Ambiental do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (ANORGS)**. Santa Rosa (Brasil), v. 2, 2004. 19 p. (Caderno didático).

FOCHO, D. A.; ENEKE, B.; EGBE, A.; FONGOD, A. G.; FONGE, B. A.; NJOH, R. N. Effects of organic and inorganic fertilizers on early growth characteristics of *Khaya ivorensis* Chev (African mahogany) in nursery. **African Journal of Plant Science**, v. 5, n. 12, p. 722-729, 2011.

FOWLER, A. J. P.; BIANCHETTI, A. **Dormência em sementes florestais**. Colombo (Brasil): Embrapa Florestas, 2000. 27 p. (Documentos, 40)

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAESNETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES J. L. M.; BENEDETTI, V. (organizadores). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba (Brasil): Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), p. 309-350, 2000.

HARTEMINK, A. E. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. **Advances in Agronomy**, v. 89, p.179-225, 2006.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

KROEHLER, C. J.; LINKINS, A. E. The root surface phosphatases of *Eriophorum vaginatum*: Effects of temperature, pH, substrate concentration on inorganic phosphorus. **Plant and Soil**, v. 105, p. 3-10, 1988.

LINDAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley, 1979. 449p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ed. São Paulo (Brasil): Nova Odessa - Instituto Plantarum, 1998. 352pp.

LYNCH, J. P.; HO, M. D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, v. 269, p. 45-56, 2005.

MACEDO, S. T. de; TEIXEIRA, P. C. Calagem e adubação fosfatada para a formação de mudas de araçá-boi. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 3, p. 405-412, 2012.

MACFALL, J.; SLACK, A. S. Effects of *Hebeloma arenosa* and phosphorus fertility on roots acid phosphatase activity of red pine (*Pinus resinosa*) seedlings. **Canadian Journal Botany**, v. 69, p. 380-393, 1991.

MAIA-ALMEIDA, C. I.; PARON, M. E.; CÉZAR, V. R.S.; FERNANDES, D. M., FERNANDES, L. A.; MING, L.C. Efeito dos níveis de fósforo no crescimento inicial, biomassa e atividade *in vivo* da fosfatase ácida em *Lychnophora ericoides* Mart. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 10, n. 3, p. 96-103, 2008.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 2 ed. São Paulo (Brasil): Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa (Brasil): Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AQAC INTERNATIONAL, chapter 3, **AQAC Official Method 985.01**, 1980. 4 p.

OLIVEIRA, P. C. de; CARVALHO, C. J. R. de. Rizosferas de arvores acumuladoras de fosforo na Amazônia brasileira. **Universitas Scientiarum**, v. 16, n. 2, p. 111-118, 2011.

PAULA, R. C. de; PAULA, N. F. de; VALERI, S. S.; CRUZ, M. C. P. de; TOLFO, A. L. T. Controle genético da eficiência de utilização de fósforo em famílias de meios-irmãos de *Eucapypytus grandis*, em casa de vegetação. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 25-34, 2003.

PEUKE, A. D. Correlations in concentrations, xylem and phloem and flows, and partitioning of elements and ions in intact plants. A summary and statistical re-evaluation of modeling experiments in *Ricinus communis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 635-655, 2010.

REID, M. S.; BIELESKI, R. L. Changes in phosphatase activity in phosphorus-deficient *Spirodela*. **Planta**, v. 94, p. 273-281, 1970.

ROSOLEM, C. A.; MERLIN, A.; BULL, J. C. L. Soil phosphorus dynamics as affected by Congo grass and P fertilizer. **Scientia Agricola**, v.71, n. 4, p. 309-315, 2014.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; UTIMA, A. Y; MILANI, J. E. de F.; MONZANI, R. M. Fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de *Gallesia integrifolia* (Spring.) Harms. **Revista Agrocientífica**, v. 1, n. 1, p. 23-32, 2014.

SAEG - **Sistema para análises estatísticas**, versão 9.1: FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES, UFV, Viçosa, 2007.

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008a.

SANTOS, R. A.; TUCCI C. A. F.; HARA, F. A. dos S.; SILVA, W. G. da. Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 453-458, 2008b.

SHONO, K.; SNOOK, L. K. Growth of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in natural forest in Belize. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 66-73, 2006.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, F. C.; BASSO, L. C. Avaliação da atividade in vivo da fosfatase acida da folha na nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 3, p. 371-375, 1993.

SILVA, T. A. F. da; TUCCI, C. A. F., SANTOS, J. Z. L.; BATISTA, I. M. P.; MIRANDA, J. F. de; SOUZA, M. M. de. Calagem e adubação fosfatada para a produção de mudas de *Swietenia Macrophylla*. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 459-470, 2011.

SOUZA, C. A. S. de; TUCCI, C. A. F.; SILVA, J. F. da; RIBEIRO, W. O. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). **Acta Amazonica**, v. 40, n. 3, p. 515-522, 2010.

SOUZA, M. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência microrrizica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

SOUZA, N. H. de; MARCHETTI, M. E.; CARNEVALI, T. de O., RAMOS, D. D.; SCALON, S. de P. Q.; SILVA, E. F. da. Estudo nutricional da canafistula (II): eficiência nutricional em função da adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 803-812, 2012.

SOUZA, P. A. de, VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G. de; VENTURI, R. P.; TUCCI, C. A. F.; MAESTRO, C. L. Nutricional assessment of cedar seedlingS (*Cedrela fissilis* Vell.) grown in a greenhouse. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 236-243, 2009.

STOORVOGEL, J. J.; SMALING, E. M. A. Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 50, p. 151-158, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TARAFDER, J. C.; CLASSEN, N. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. **Biology and Fertility of Soils**, v. 5, p. 308–312, 1988.

TSAKALDIMI, M.; GANATSAS, P.; JACOBS, D. F. Prediction of planted seedling survival of live Mediterranean species based on initial seedling morphology. **New Forests**, v. 44, p. 327-339, 2013.

TUCCI, C. A. F., SANTOS, J. Z. L.; SILVA JUNIOR, C. H. da; SOUZA, P. A. de; BATISTA, I. M. P., VENTURIN, N. Desenvolvimento de mudas de *Swietenia macrophylla* em resposta a nitrogênio, fósforo e potássio. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 471-490, 2011.

VAZQUEZ-PINEDO, M.; ZARIN D. J.; PADOCH, C.; RABELO, F. Post-boom logging in Amazonia. **Human Ecology**, v. 29, n. 2, 219-239, 2001.

VIEIRA, T. A. S. **Crescimento e eficiência nutricional de leguminosas arbóreas pioneiras e não pioneiras**. 2013. 74f. (Magister Scientiae em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, MG.

WEAVER, P.; SABIDO, O. Mahogany in Belize: a historical perspective. USDA Forest Service Southern Research Station General Technical Report IITF-2. **International Institute of Tropical Forestry**, 1997.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Citriculture Review Plant Science**, v. 14, p. 49-82, 1995.

WHITE, J. P. **Long-distance transport in the xylem and phloem**, p. 49-70. In: MARSCHNER, P. Mineral nutrition of higher plants. 3ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in diets human-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytology**, v. 182, p. 49-84, 2005.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 92, p. 487-511, 2003.

4 CAPÍTULO II:

FÓSFORO: EFEITOS SOBRE PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E FISIOLÓGICOS DE PAU-DE-BALSA

RESUMO

O pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale* Cav. ex. Lamb.) é uma espécie de madeira de rápido crescimento, economicamente promissora, que apresenta ampla utilidade, desde a madeira até a pluma que envolve as sementes. Entretanto, as informações sobre a influência do fósforo (P) na sua nutrição e desenvolvimento são incipientes. Em condições de casa de vegetação, avaliou-se os efeitos de quatro doses de P (0; 1; 10 e 100 kg ha⁻¹) sobre parâmetros biométricos e fisiológicos. O aumento das doses de P, elevou os parâmetros de crescimento da parte aérea, a eficiência de utilização de P e a concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema. Entretanto, as concentrações foliares de nutrientes foram afetadas de forma variada: P, Mg e Ca aumentaram e, N, K, S, B, Zn e Cu reduziram. A aplicação de doses de P promoveu a redução da atividade de fosfatase de raiz. Além disso, não foi verificado efeito sobre as concentrações foliares de Mn, Fe e concentração de ácido oxálico. Em geral, doses crescentes de P melhoram a formação das mudas, porém uma adubação equivalente a 100 kg P ha⁻¹ pode causar desequilíbrio de crescimento.

Palavras chave: *Ochroma pyramidale* (Cav. ex. Lamb.). Fertilização fosfatada. Parâmetros biométricos. Parâmetros fisiológicos.

ABSTRACT

Fast growth and broad usage has resulted in balsa wood (*Ochroma pyramidale* Cav. ex. Lamb.) becoming a forestry species with promising market potential. However, there is little information concerning the effects of phosphorus on balsa development and physiology. In this work, we studied the effect of four P treatments (0, 1, 10 and 100 kg ha⁻¹) on biometric and physiological parameters of balsa wood seedlings. Higher P treatments increased shoot growth parameters, P utilization efficiency and the concentration of organic acids in xylem fluid. Foliar concentrations of macro and micro-nutrients were less consistent; P, Mg and Ca increased and, N, K, S, B, Zn and Cu were reduced as P treatments increased. Higher P treatments promoted a reduction of root phosphatase activity. Treatments did not alter foliar concentrations of Mn, Fe and oxalic acid concentrations in xylem fluid. Higher P treatments improved seedling formation, but our data also suggests that the highest level of P (100 kg P ha⁻¹) can also result in growth imbalance.

Keywords: *Ochroma pyramidale* (Cav. ex. Lamb.), phosphorus fertilization, biometrics parameters, phosphorus utilization efficiency, roots phosphatase activity, organic acids in the xylem fluid.

4.1 Introdução

A proposta primária de viveiros florestais é a produção de mudas de qualidade para reflorestar e formar novas florestas (FOCHO et al., 2011). A melhoria da fertilidade do substrato usado em viveiros é essencial para garantir a produção de mudas de alta qualidade (TUCCI et al., 2011; FOCHO et al., 2011). Na região tropical, a fertilização fosfatada é muito importante, pois o declínio da fertilidade natural do solo nesta tem sido apontada como o maior obstáculo para a produção das espécies (STOORVOGEL; SMALING, 1998; HARTEMINK, 2006).

O pau-de-balsa é uma espécie característica das primeiras etapas de sucessão secundária em áreas neotropicais (LOUREIRO et al., 1979). Produz madeira muito leve (com densidade de 0,20 a 0,35 g cm³) que permite diversos usos: confecção de isolantes acústicos e térmicos, hélices eólicas, móveis, compensados, brinquedos, aeromodelos, acabamentos de navios, extração de celulose e fabricação de papel; com madeira de plantas com cerca de um ano de idade (BARBOSA et al., 2004).

A taxa de sobrevivência, associada ao crescimento na área de plantio, é a melhor medida de qualidade para produção de mudas (DICKSON et al., 1960). A qualidade das mudas na época do transplantio pode ser embasada em características de crescimento morfológicas ou fisiológicas (DICKSON et al., 1960; SIDDIQI; GLASS, 1981).

A eficiência de utilização do nutriente absorvido é, talvez, tão importante quanto à absorção, e o desenvolvimento da planta (SIDDIQI; GLASS, 1981). O P, em condições tropicais, é normalmente absorvido pelas plantas na forma de H₂PO₄²⁻ (NOVAIS; SMYTH, 1999), entretanto, vastas regiões de solos tropicais contêm baixas concentrações de P-inorgânico (Pi) biodisponível. Contudo, frequentemente esses solos contêm consideráveis quantidades de compostos com P-orgânico (Po) (CLINEBELL et al., 1995; NOVAIS; SMYTH,

1999).As plantas podem usar fontes de Po com a mesma eficiência de fontes de Pi, ao hidrolisar Po, para obter Pi (TARAFDAR; CLAASSEN, 1988; NOVAIS; SMYTH, 1999). Portanto, é fundamental avaliar a biodisponibilidade do Po no solo mediada por enzimas associadas com raízes e microrganismos do solo, como as fosfatases (NOVAIS; SMYTH, 1999; MARSCHNER, 2012; DAS et al., 2014). Embora a determinação de atividade de fosfatase em raiz seja rápida, de fácil execução, baixo custo e com ampla utilidade (DAS et al., 2014), não foram encontradas referências sobre a atividade de fosfatase de pau-de-balsa, como observado para outras espécies por Kroehler; Linkins (1988); Macfall; Slack (1991); Bovi et al. (1998); Maia-Almeida et al. (2008); Oliveira; Carvalho (2011); Rosolem et al. (2014); Das et al. (2014).

O nível de fertilização de determinado nutriente no substrato influencia na sua disponibilidade, segundo Novais; Smyth (1999) e Malavolta (2006); e, conseqüentemente, na sua absorção e transporte pela planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Desse modo, o conhecimento das interações envolvendo o transporte de solutos no fluido do xilema, por exemplo: nutrientes e ácidos orgânicos (PEUKE, 2010), especialmente sob a influência de níveis de fertilização de determinado (s) nutriente (s), também pode auxiliar na avaliação do estado nutricional da planta (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; BALAL et al., 2011).

A investigação da influência de doses de P nos processos de absorção, transporte e uso do P pode contribuir na produção de mudas de qualidade, com menores custos (VASQUEZ-PINEDO et al., 2001). Estes resultados também podem somar para o esclarecimento de como e em que proporções esses processos ocorrem e, são afetados por doses de P (SANTOS et al., 2008b; TUCCI et al., 2011). Assim, objetivou-se avaliar os efeitos de doses de P sobre parâmetros biométricos e fisiológicos na produção de mudas de qualidade de pau-de-balsa.

4.2 Material e métodos

Aquisição e germinação de sementes

Os frutos de pau-de-balsa foram coletados no km 41 da rodovia AM 010 em Manaus, Brasil; em junho de 2012. Eles foram secos à sombra, e as sementes foram beneficiadas, tratadas com hipoclorito de sódio (1%), por cinco minutos, e armazenadas a 5°C até a germinação (FOWLER; BIANCHETTI, 2000).

Após a quebra da dormência das sementes (FOWLER; BIANCHETTI, 2000; BARBOSA et al., 2004; FLORIANO, 2004), a germinação foi realizada em câmara de crescimento a $27 \pm 3^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$, sendo as sementes depositadas em bandejas plásticas preenchidas com o substrato comercial *peat mix* e, cobertas com um fino tecido branco (FOWLER; BIANCHETTI, 2000; FLORIANO, 2004). Este substrato, cujos resultados de análises estão expressos na tabela 1 (página 34), também foi usado na formação das mudas.

Após a germinação, as plântulas foram aclimatadas por 15 dias na casa de vegetação, onde, diariamente, a umidade relativa foi mantida em $70 \pm 10\%$ e a temperatura em $30^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ (FOWLER; BIANCHETTI, 2000; FLORIANO, 2004).

Delineamento e condução experimental

O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados, com seis repetições. Os tratamentos usados foram quatro doses de P, equivalentes a 0, 1, 10 e 100 kg ha⁻¹; tendo como fonte o superfosfato triplo, num total de 24 parcelas experimentais. Cada parcela era composta por dez plantas cultivadas em vasos individuais de 3,78 dm³, preenchidos com o substrato *peat mix*. O fertilizante fosfatado foi moído antes da pesagem das doses, como recomendado por Tucci et al., 2011.

Todas as parcelas receberam adubação básica⁽²⁾ com macro e micronutrientes no transplântio, exceto para P. Para o N e o K foram usados 680 e 340 mg L⁻¹, respectivamente, tendo como fonte o Polyon[®] (43% de N-uréia e 59% de K₂O). Para suprir a necessidade de S foi usado o MgSO₄, sendo os Sais de Epson[®] (16,24% de MgO e 13% de S) a fonte na forma de solução, com a adição de 400 mg L⁻¹. Para os micronutrientes, foram usados 50 mL vaso⁻¹ de solução estoque de FloraMicro[®], no transplântio; e, a cada 15 dias. Esta solução continha, em mg L⁻¹: B = 0,26; Fe = 2,6; Mn = 1,3; Zn = 0,39; Mo = 0,02 e Co = 0,01, além de N = 130; K = 26 e Ca = 130. Cálcio e nitrogênio também foram adicionados como solução 3,0 mM L⁻¹ de nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂.4H₂O], 100 mL vaso⁻¹, a cada quinzena, esta solução continha 509 mg L⁻¹ de Ca e 356 mg L⁻¹ de N.

Selecionaram-se mudas de 4 - 7 cm de altura para o transplântio. A umidade do substrato foi monitorada diariamente, mantendo-se 70% do total de poros preenchidos (CASAROLI; van LIER, 2008) pela pesagem dos vasos. O experimento foi conduzido no período de 20 de maio a primeiro de agosto de 2013.

Quantificação dos parâmetros biométricos

As plantas foram colhidas aos 73 dias após o transplântio e, mediu-se: altura da planta (H), diâmetro do colo (D), área foliar (AF), massa seca de raízes (MSR), caules (MSC) e folhas (MSF), separadamente e, massa seca total (MST). A H foi medida da área da base à gema apical. O D foi medido a um cm da superfície do substrato; para a AF (cm²) usou-se um medidor portátil (modelo Licor-300 Lambda Instrumental Corporation) e, as medidas de AF foram tomadas de três plantas escolhidas ao acaso nas parcelas.

⁽²⁾A orientação para a adubação básica foi obtida com a Dra. Mackowiak: echo@ufl.edu (comunic. pessoal).

As raízes foram separadas usando água e uma peneira de 2,0 mm de abertura. A parte aérea foi lavada em água e, depois folhas e caules foram separados; raízes, caules e folhas foram secos em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até peso constante. Após seco e moído (moinho Thomas Scientific – modelo 3375 – E15) separadamente, a MST (g) foi determinada somando MSR (g), MSC (g) e MSF (g), e a da parte aérea (MSPA) (g), somando-se MSC e MSF. Os índices de qualidade de mudas avaliados foram: a razão H/D (cm/mm) e o índice de qualidade de Dickson (IQD), estimado pela fórmula: $IDQ = MST / (H/D + MSPA/MSR)$ (DICKSON et al., 1960).

Avaliação do estado nutricional

Com os resultados de concentração de C, N e P em raiz, caule e folha obtidos pelo método de Embrapa (1999), estimou-se os conteúdos destes elementos, com base na massa seca (MS) (g). Para as determinações de concentrações foliares de nutrientes: o N foi determinado pela técnica da combustão, num analisador elementar (Leco FP528 CHN). Uma alíquota de 0,50 g de tecido foliar seco foi digerido em HNO₃ concentrado em bloco digestor (BRODBECK et al., 2001). No extrato digerido, os demais macros e micronutrientes (B, Zn, Mn, Fe e Cu) foram determinados pelo método ICP (Inductively Coupled Plasm) (Official methods of analysis of AQAC International, 1980).

A partir dos valores de MS (g) e, dos valores estimados do conteúdo de P (CP) (mg) em raiz, caule e folha, foram calculados os índices de eficiência de utilização de P (EUP) para cada um desses órgãos, sendo: $EUP = MS^2/CP$ (g² mg⁻¹) (SIDDIQI; GLASS, 1981).

Estimativa da atividade de fosfatase ácida de raiz

A atividade de fosfatase ácida (E.C.3.1.3.2) de raiz foi adaptada de Das et al. (2014). As raízes foram aleatoriamente selecionadas em cada parcela experimental, fazendo-se um bloco completo por dia. Foram feitas as seguintes modificações: 3 - 6 cm (20 - 60 mg) de raízes foram

cortadas. As amostras foram incubadas por 4 h a 30°C, tendo o *p*-nitrofenilfosfato como fonte de Po. As determinações quantitativas de Po mineralizado foram obtidas com a análise de Pi, produzido no sistema. O método de Murphy; Riley (1962) ($\lambda = 880$ nm) foi usado para a determinação de Pi, com o limite de detecção de 0,004 mg L⁻¹.

Estimativa de ácidos orgânicos no fluido do xilema

A coleta do fluido do xilema foi realizada conforme Andersen et al. (1993), usando-se um número de plantas suficientes para se obter 1,5 mL de amostra, em cada parcela experimental. Entre 10:00 e 12:00 h, as amostras do fluido - um bloco completo por dia - foram coletadas em ordem crescente de tratamentos, com 0,25 MPa acima da tensão, por 30 s, por planta. As primeiras duas gotas exsudadas foram descartadas. As amostras foram armazenadas em - 20°C. Os ácidos oxálico, cítrico, tartárico, málico, succínico e láctico no fluido do xilema foram determinados por cromatografia de troca catiônica, em um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) (ANDERSEN; BRODBECK, 1991; ANDERSEN et al., 1995).

Análise estatística

Foi realizada usando o programa SAEG, versão 9.1 (SAEG, 2007). Os efeitos de tratamentos foram estatisticamente avaliados pela comparação de médias, usando o teste Tukey ($p < 0,05$), e os gráficos obtidos no programa Sigma Plot 12.0. Dada a grande variabilidade da atividade de fosfatase ácida de raiz (NOVAIS; SMYTH, 1999; MARSCHNER, 2012; DAS et al., 2014), para esta variável adotou-se $p < 0.1$.

4.3 Resultados e discussão

O resumo da análise de variância dos parâmetros avaliados está expresso nas tabelas de 2A a 2F. Adição de P ao substrato afetou alguns destes parâmetros e, outros não, conforme será descrito a seguir.

Parâmetros biométricos

Observou-se a influência positiva das doses de P sobre a altura (H) (Figura 8A), o diâmetro (D) (Figura 8B), a área foliar (AF) (Figura 8C), a massa seca de raiz (MSR), caule (MSC), folha (MSF) (Figura 9D), parte aérea (MSPA) e total (MST) (Figura 9C). Os índices de qualidade: H/D (Figura 9A) e IQD (Figura 9B) também foram afetados positivamente.

A aplicação de fertilizante estimula a diferenciação e multiplicação celular levando a aumentos em altura (MALAVOLTA, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009). A maior dose promoveu o maior crescimento (Figura 8A), que superou mais de duas vezes a altura recomendada (20 a 35 cm) para transplântio de espécies florestais nativas no campo (GONÇALVES et al., 2000). Para a dose equivalente a 10 kg P ha^{-1} , mudas de pau-de-balsa respondem com valores de H próximos do recomendado (Figura 8A). Resultados similares foram registrados para mudas de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* L.) (BRONDANI et al., 2008) e sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) (COSTA-FILHO et al., 2013).

O D também é usado como uma boa medida da performance das mudas no campo (TSAKALDIMI et al., 2013). A sobrevivência de mudas de *Pinus halepensis* e *Pistacia lentiscus* foi positivamente correlacionada com o D (TSAKALDIMI et al., 2013). A mesma tendência de resultados observados para a H (Figura 8A), ocorreu com o D (Figura 8B); para o qual, uma boa faixa de valores está entre 5 e 10 mm (GONÇALVES et al., 2000). Resultados similares foram registrados para mudas de sansão-do-campo (COSTA-FILHO et al., 2013). Isso

provavelmente ocorreu porque a fertilização adequada estimulou a formação de proteínas, a rápida divisão e diferenciação celular, resultando em aumento do D (TAIZ; ZEIGER, 2009).

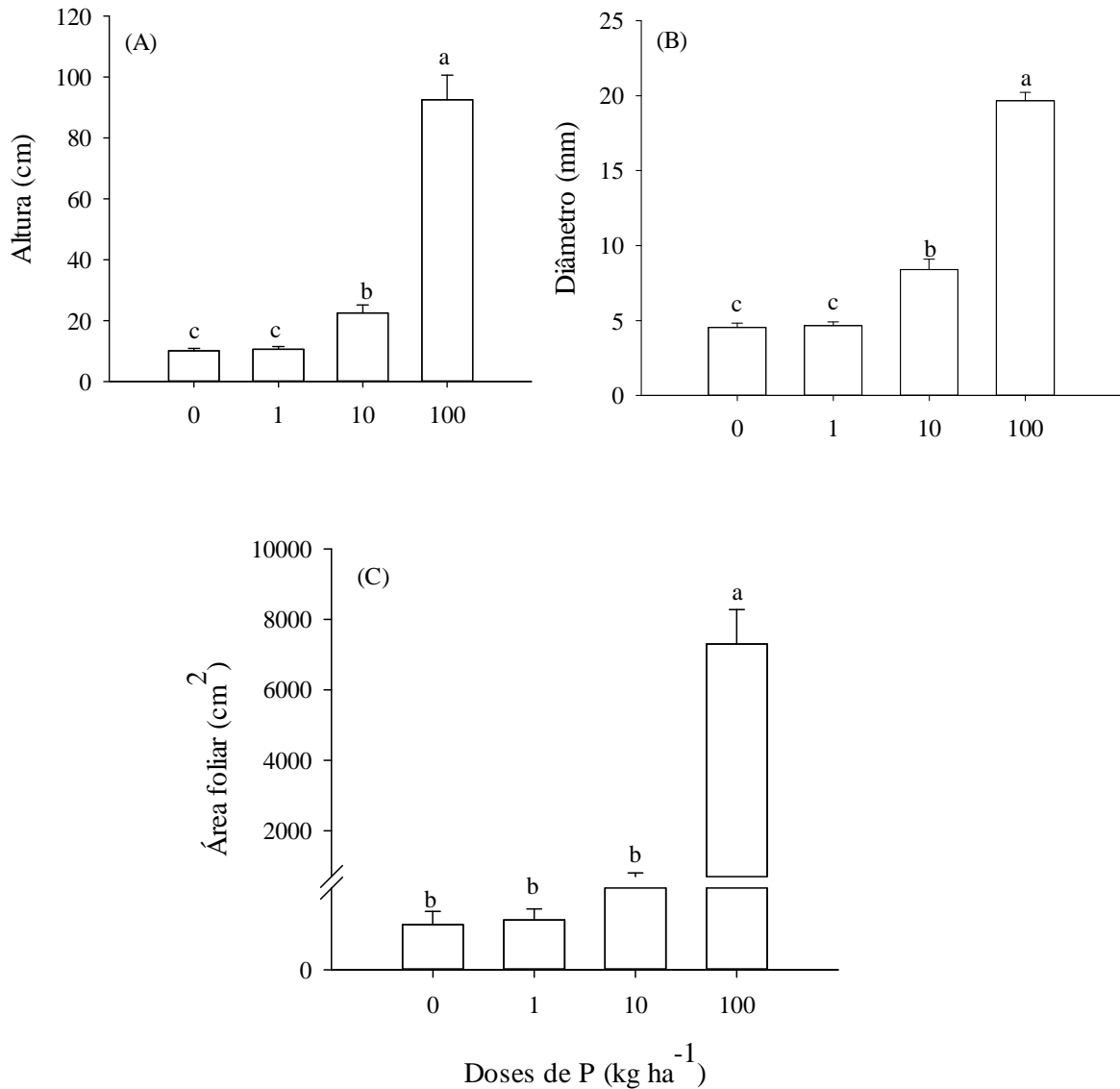


Figura 8. Efeitos de doses de P sobre parâmetros de crescimento de pau-de-balsa.

Aumentos das doses de P aumentaram a AF. A dose mais elevada promoveu o maior aumento em AF (Figura 8C), como observado para mudas de sansão-do-campo (COSTA FILHO et al., 2013). Em geral, plantas com maior AF podem fazer mais fotossíntese, e assim tornarem-se mais resistentes e produtivas (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

Entretanto, para mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), que também é uma espécie pioneira, as doses de P afetaram H, D e AF somente até as doses de 25, 48 e 57 mg P dm⁻³, respectivamente (FREIBERGER et al., 2014).

A MSPA também é um bom parâmetro para avaliar a qualidade de mudas em viveiro (TSAKALDIMI et al., 2013). A adição de doses de P aumentou a MSR, MSC e MSF (Figura 9D), como observado em mudas de grandíuva (*Trema micranta* (L.) Blume) e pinho-cuiabano (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) (CAIONE et al., 2012). A maior dose aplicada promoveu o maior aumento na produção de MSR, MSC e MSF (Figura 9D); conseqüentemente, para MST houve a mesma tendência (Figura 9C). Isso ocorreu, em parte, pelo fato de espécies pioneiras (LORENZI, 1998) apresentarem sistema radicular mais desenvolvido e maior densidade de raízes finas, proporcionando maiores taxas de absorção de nutrientes e crescimento (GONÇALVES et al., 1992).

Os tratamentos com P influenciaram positivamente os índices de qualidade de muda: H/D e IQD. Os valores H/D e IQD, respectivamente, menor 10 e maior que 0,2 são considerados como referência para a classificação de qualidade de mudas (DICKSON et al., 1960; CARNEIRO, 1995; JOSÉ et al., 2009). Os valores de H/D foram menores que 10, considerando as referências, independentemente das doses de P (Figura 9A). A mesma tendência ocorreu para o IQD, com valores maiores que 0,2, para todas as doses de P (Figura 9B). O aumento das doses de P promoveu aumento tanto na produção de MSPA (Figura 9C) quanto de MSR (Figura 9D), mas com uma contribuição na produção de MST, relativamente, maior da MSPA (Figura 9C). Além disso, os baixos valores da razão MSPA/MSR (Tabela 2A), bem como os da razão H/D sempre menores que 10 (Figura 9A), resultaram em valores de IQD (Figura 9B) que classificam essas mudas como de alta qualidade, desde o tratamento testemunha até a maior dose.

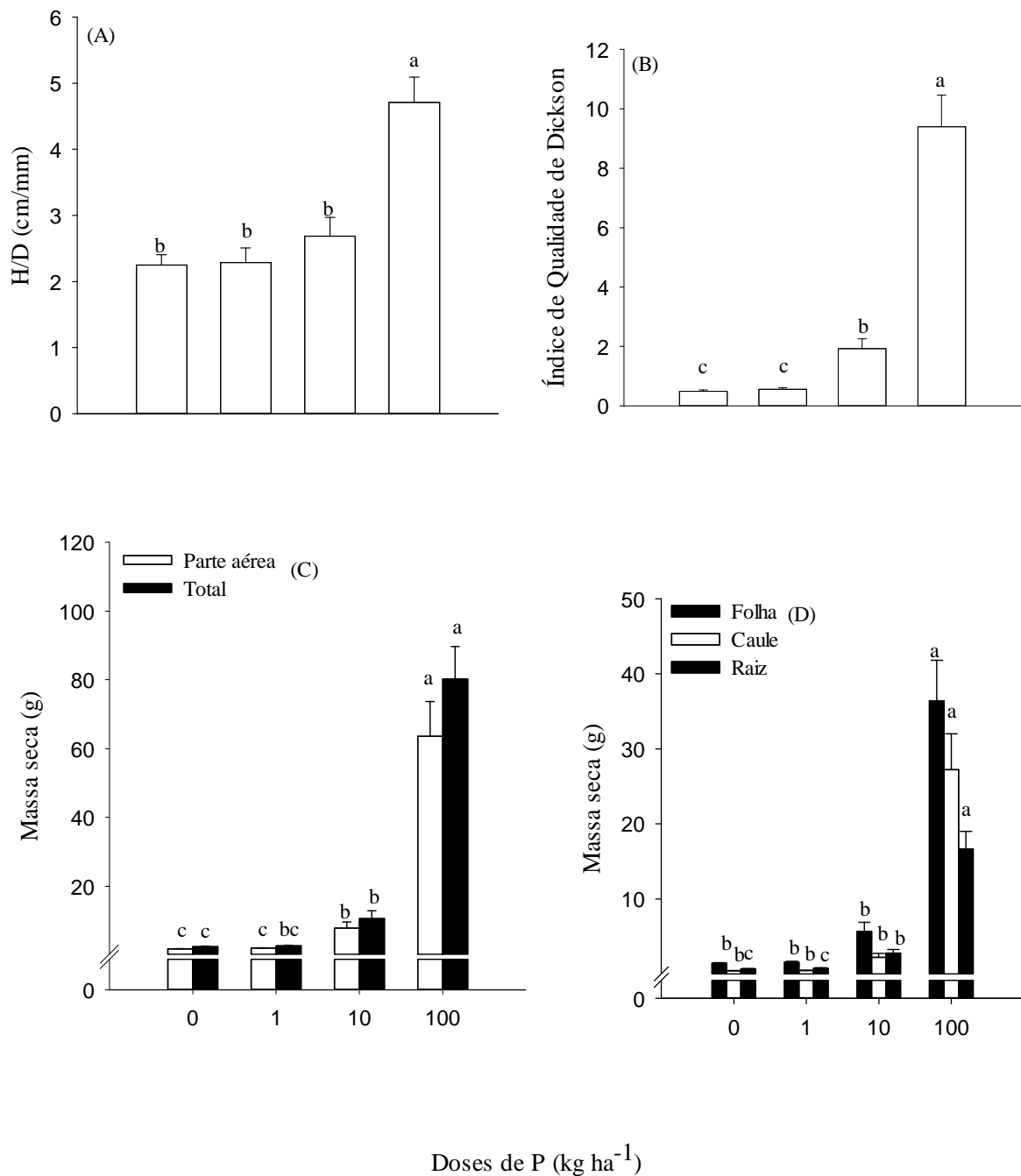


Figura 9. Efeitos de doses de P sobre a produção de massa seca e dois índices de qualidade de pau-de-balsa.

Ao comparar os resultados de Souza et al. (2012), com canafistula (*Peltophorum dubium* (Spring) Taubert), e de Rossa et al. (2014), com pau d’alho (*Gallesia integrifolia* (Spring) Harms), com os obtidos nesse estudo (Figura 9B), sugere-se que mudas de pau-de-balsa podem

atingir IDQs adequados, mesmo em condições de moderada fertilização fosfatada (equivalente a 10 kg P ha⁻¹).

Embora o IQD seja um bom indicador da qualidade de mudas (DICKSON et al., 1960; CAIONE et al., 2012) que relaciona características como H e D com massa seca, assim expressando também a distribuição de massa da muda; outros parâmetros de crescimento isolados, ou conjuntamente, devem ser considerados para a classificação correta. Portanto, parece que o tratamento que resultar em equilíbrio nos valores de características morfológicas é adequado. No caso das mudas de pau-de-balsa, a aplicação da dose equivalente a 10 kg P ha⁻¹ resultou em valores mais adequados de H (Figura 8A), D (Figura 8B) e de índices H/D e IQD (Figuras 9A e 9B) (DICKSON et al., 1960; CARNEIRO, 1995; JOSÉ et al., 2009), porque melhor exprimem equilíbrio de crescimento (GONÇALVES et al., 2000), quando comparado à maior dose.

Conteúdo de nutrientes

As doses de P influenciaram positivamente os conteúdos de C, N e P na planta. A maior dose de P aplicada proporcionou os maiores conteúdos de C, N e P na planta (Figuras 10A, 10B e 10C). Os conteúdos de C na maior dose em raiz, caule e folha (Figura 10A), corroboram os resultados encontrados para MSR, MSC e MSF, respectivamente (Figura 9D) e, AF (Figura 8C). Os elementos C, H e O constituem, em geral, mais de 90% da massa seca (MS) de plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MARSCHNER, 2012), assim o aumento do conteúdo de C está estritamente relacionado ao aumento da produção de MS e, em parte, com a maior AF (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

Quanto ao N, parece que a maior parte absorvida foi carregada no fluido do xilema e assimilada na folha, e uma menor fração permaneceu na raiz e no caule (Figura 10B) (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Provavelmente porque, após a absorção de N, o gasto

energético da planta (em esqueletos de C e ATP) para a assimilação de N em caules e folhas (órgãos verdes) é muito menor que em raiz (órgão não verde) (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). O aumento das doses de P também influenciou positivamente com a maior translocação de N da raiz para a parte aérea em mudas de canafístula (SOUZA et al., 2012) e, de N e P para folha em mudas de pata-de-vaca (BRONDANI et al., 2008).

Os resultados sugerem que, ao fornecer uma dose de P elevada (100 kg ha^{-1}), a planta de pau-de-balsa armazenou, relativamente, mais P nas células de folha e caule que de raiz (Figura 3C e Tabela 2C). Possivelmente, isso ocorreu porque algumas plantas, quando em condições favoráveis, armazenam o máximo possível de P_i no vacúolo para utilizá-lo em condições de limitação (LYNCH; HO, 2005). Neste caso, o P pode ser armazenado na forma de íon negativo, cooperando no balanço intracelular de cargas (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). O aumento das doses de P não promoveu gradativo acúmulo de P na parte aérea de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth) (SANTOS et al., 2008a).

Variações na alocação de P na planta e sua remobilização entre os órgãos são estratégias que as espécies podem desenvolver em função de fatores intrínsecos (espécie-específico) (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012), ou, externos, como: o déficit ou o excesso de P biodisponível no solo (NOVAIS; SMYTH, 1999; MARSCHNER, 2012).

Como pau-de-balsa é uma espécie pioneira e de crescimento rápido (LORENZI, 1998), provavelmente por isso os resultados mostram uma tendência de maior conteúdo de N do que de P, na parte aérea da planta (Figuras 10B e 10C), o que pode estar relacionando ao seu tipo de crescimento (rápido). Isso ocorre provavelmente devido a uma maior demanda por nutrientes, particularmente N, na etapa inicial do crescimento para espécies pioneiras (SANTOS et al., 2008a; VIEIRA, 2013).

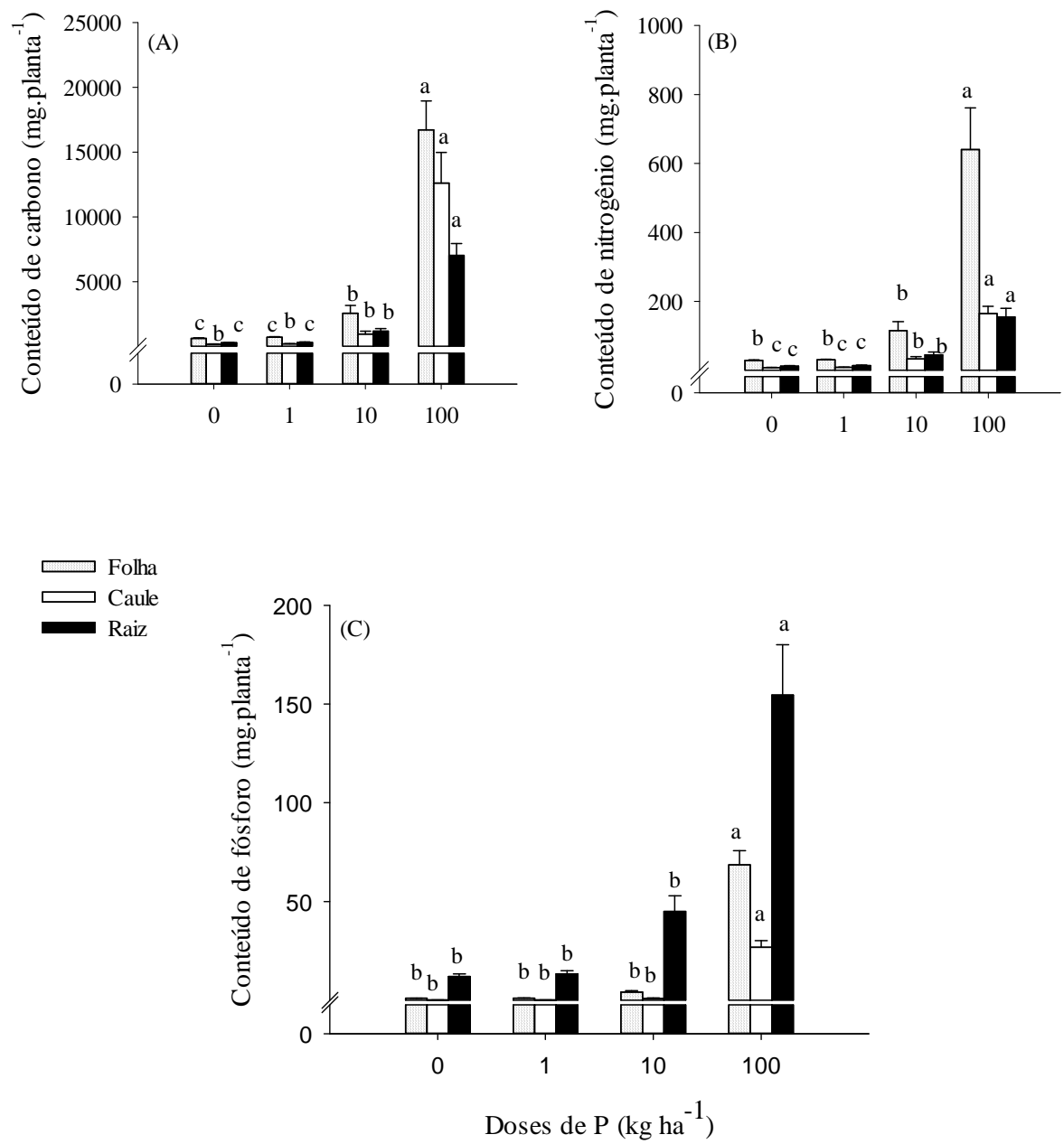


Figura 10. Efeitos de doses de P sobre os conteúdos de C, N e P, em folha, caule e raiz de pau-de-balsa.

Eficiência de utilização de P

Em geral, o aumento das doses de P promoveu o aumento dos valores estimados da eficiência de utilização de P (EUP) em toda a planta (Figura 11) e de acúmulo foliar de P (Figura 10C). A dose mais elevada de P proporcionou os maiores valores de EUP em folha, caule e raiz (Figura 11).

Possivelmente, as mudas de pau-de-balsa apresentam maior EUP como reflexo de uma alta taxa fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2009). Tratamentos com adubação fosfatada em mudas de *Vismia japurensis* Reichardt, espécie pioneira, mostrou-a mais eficiente na utilização de P e, também com altos valores de taxa fotossintética (SILVA et al., 2006). Os estudos são divergentes quanto ao aumento da disponibilidade de P às plantas e a EUP. Mudanças de canafístula apresentaram resultados similares (SOUZA et al., 2012) ao deste estudo (Figura 11), tanto para EUP como para o acúmulo de P na parte aérea. Mas, para mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), o aumento das doses de P diminuiu a EUP em toda a planta (BALOTA et al., 2012); sendo ambas pioneiras, como pau-de-balsa (Figura 11). O aumento das doses de P não influenciaram a EUP de folhas em mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) (SANTOS et al., 2008a), o que pode ser resultado de um crescimento lento da planta (LORENZI 1998); no entanto, influenciou essa característica em mogno (Figura 4), que também é uma espécie de crescimento lento.

É provável que a eficiência nutricional da maioria das espécies esteja sob controle genético (BALIGAR et al., 2001; PAULA et al., 2003; TAIZ; ZEIGER, 2009; SOUZA et al., 2012; VIEIRA, 2013), o que pode ser uma das causas de variação dentro do mesmo grupo ecológico (LORENZI, 1998; VIEIRA, 2013). Esse tipo de informação pode fornecer subsídios a programas de melhoramento genético, para identificar materiais promissores para essa característica (PAULA et al., 2003; SOUZA et al., 2012; VIEIRA, 2013); desde que seja

considerado o alto grau de variabilidade genética presente em espécies nativas (BALIGAR et al., 2001; VIEIRA, 2013).

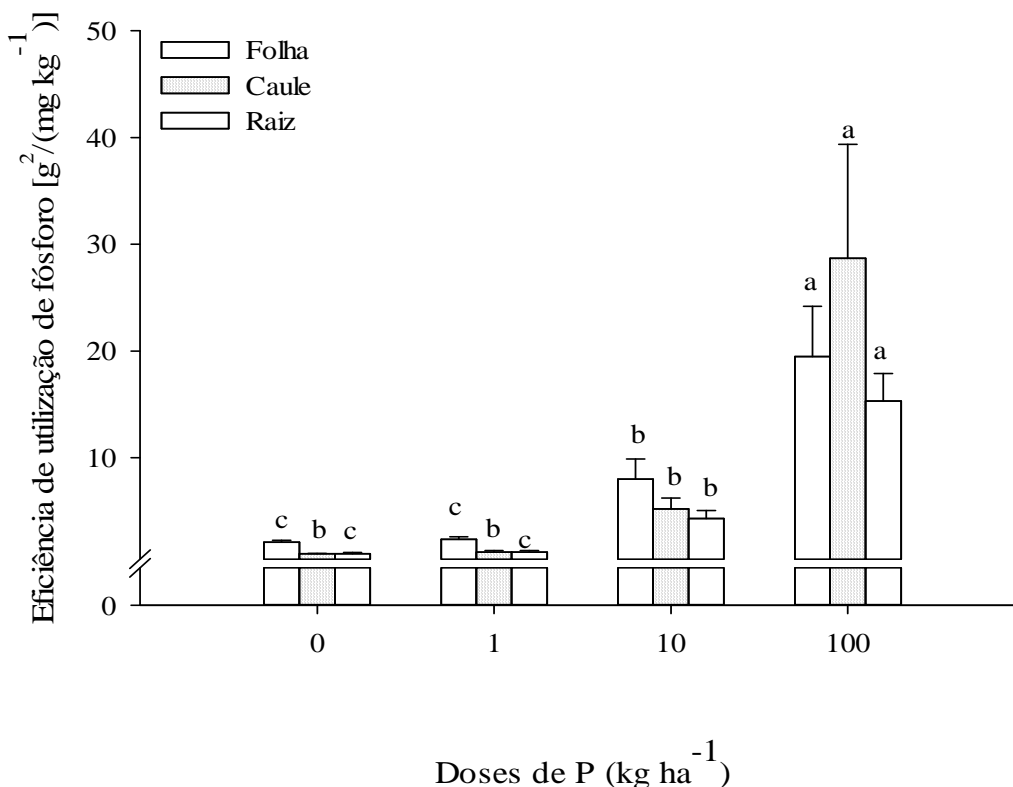


Figura 11. Efeitos de doses de P sobre a eficiência de utilização de P em folha, caule e raiz de pau-de-balsa.

Atividade de fosfatase de raiz

A aplicação de doses de P afetou a atividade de fosfatase ácida de raiz em mudas de pau-de-balsa (Figura 12). Os poucos estudos com atividade de fosfatase ácida de raiz de espécies nativas são contraditórios. O aumento de doses de P não afetou a atividade de fosfatase de raiz de pinus (*Pinus resinosa* Ait.) (MacFALL; SLACK, 1991), porém, afetou para arnica-da-serra (*Lychnophora ericoides* Mart) (MAIA-ALMEIDA et al., 2008).

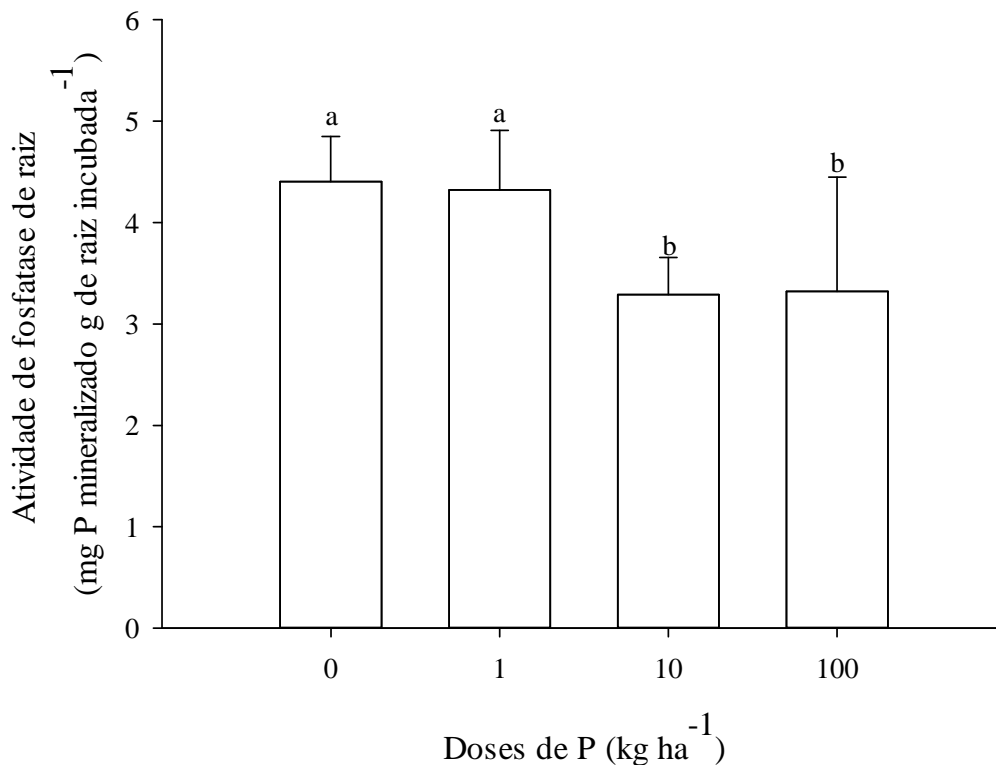


Figura 12. Efeitos de doses de P sobre a atividade de fosfatase de raízes de pau-de-balsa.

Na presença de suficiente quantidade de íon fosfato dentro da planta, o mecanismo fisiológico intitulado síntese de “novo”, comum na síntese de fosfatases, é inibido (REID; BIELESK, 1970; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Neste estudo, o maior nível de P ocasionou um acúmulo de fosfato na raiz, aproximadamente, dez vezes maior que aquele promovido pela aplicação da dose anterior (Figura 10C e Tabelas 3B), mas foi insuficiente para promover a redução da atividade de fosfatase ácida de raiz com intensidade similar (Figura 12 e Tabela 6B). Quando comparada, *Casearia arborea*, uma espécie com baixo potencial de acumular P nos tecidos, com outras duas com maior potencial, a atividade de fosfatase foi ligeiramente superior em *Casearia arborea* (OLIVEIRA; CARVALHO, 2011).

Ao testar a atividade de fosfatase de raiz de grama-bahia (*Paspalum notatum* cv. Tifton 9), foi observado que o aumento do mecanismo de aquisição de nutrientes foi uma das causas

para a mais alta atividade dessa enzima (DAS et al., 2014). O tipo de crescimento (rápido) de pau-de-balsa impõe grande necessidade de absorção e assimilação de nutrientes, especialmente P, por sua intensa e importante função em plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). É possível que o aumento do mecanismo de aquisição e intensidade de uso de nutrientes, especialmente do P, seja uma explicação para a não redução da atividade de fosfatase ácida de raiz em dez vezes, mesmo com a aplicação de doses de P dez vezes maiores a cada nível (Figura 12), as quais também ocasionaram diferenças de acúmulo de P na raiz na mesma proporção, principalmente entre as duas últimas doses (Figura 10C e Tabelas 3B).

Concentração de nutrientes em folha

A adição de P influenciou diferentemente a concentração de nutrientes em folha, exceto para Mn e Fe (Figuras 13A, 13B, 13C e 13D). A maior dose promoveu as maiores concentrações de P, Mg e Ca (Figuras 13A e 13B), entretanto, resultou nos menores valores para N, K, B e Zn (Figuras 13A, 13C e 13D). Para o S, todas as doses respondem igualmente, mas na testemunha (não aplicação de P) foi observado o maior valor (Figuras 13B); no entanto, para o Cu, o menor valor ocorre na maior dose (Figura 13D). Resultados similares foram encontrados na parte aérea de mudas de araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh) (MACEDO; TEIXEIRA, 2012) e de canafístula (SOUZA et al., 2012). Contudo, em mudas de araucária (*Araucaria angustifolia* Bert.) (SOUZA; CARDOSO, 2002), o aumento das doses de P não influenciou os teores de nutrientes na parte aérea.

Não é bem explicado o processo de absorção de B, mas há quase um consenso que considera um processo passivo de difusão do $B(OH)_3$ através da plasmalema (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006; TAIZER; ZEIGER, 2009). O B é transportado predominantemente no fluido do xilema na forma de H_3BO_3 (BROWN, 1998 apud

MALAVOLTA, 2006). Os processos que controlam o carregamento e a descarga desse elemento no fluido do xilema são provavelmente semelhantes ao da absorção (WELCH, 1995). Sobretudo, tradicionalmente, o B tem sido considerado imóvel na planta, ou seja, não se move das folhas ou de outros órgãos para atender a necessidade de crescimento, podendo ocorrer sintomas de deficiência em tecidos em crescimento, como meristemas vegetativos (BROWN, 1998 apud MALAVOLTA, 2006). Portanto, o decréscimo na concentração de B em folha (Figura 13C), ao aumentar as doses de P, pode ser explicado pelo crescimento rápido de pau-de-balsa, com aparente desequilíbrio, resultante da aplicação especialmente da dose de P mais elevada; e, pela sua relativamente baixa mobilidade na planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006), apesar de apresentar um processo de absorção aparentemente sem gasto de energia e, por isso, se traduzir numa possível facilidade para a aquisição do mesmo, pela planta. Resultando similar foi registrado para mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) (SOUZA et al., 2009), porém, em mudas de pinhão-manso, o aumento das doses de P promoveu maior acúmulo total de B (FREIBERGER et al., 2014).

As interações negativas entre Zn e os fosfatos em relação à disponibilidade dos mesmos na solução do solo (substrato) (LINDSAY, 1979; NOVAIS; SMYTH, 1999; BRADY; WEIL, 2002) são conhecidas; e, em geral, em consequência disso, a absorção desses elementos e do P pelas raízes das plantas também pode ser afetada (NOVAIS; SMYTH, 1999; BRADY; WEIL, 2002; MALAVOLTA, 2006) e, isto possivelmente afetou negativamente a concentração de Zn em folha (Figura 13D). Além disso, sugere-se que a interação negativa de P x Zn, durante o transporte de Zn na planta, deu-se pela redução da concentração de ácido tartárico no fluido do xilema (Figura 14A), porque este ácido orgânico forma complexos com o Zn (MARCHNER, 2012). Somando a isso, o Zn^{2+} forma ligações de valência coordenada com o ácido tartárico durante a sua assimilação (TAIZ; ZEIGER, 2009). Entretanto, apesar de o Fe também sofrer interações negativas com o P na solução do solo (BRADY; WEIL, 2002; MALAVOLTA, 2006)

e com alguns ácidos orgânicos no fluido do xilema (MARCHNER, 2012), não houve efeito no teor foliar de Fe (Figura 13C e Tabela 2D). Em mudas de arazá-boi, houve antagonismo entre as doses de P e as concentrações foliares de Zn e Fe (MACEDO; TEIXEIRA, 2012).

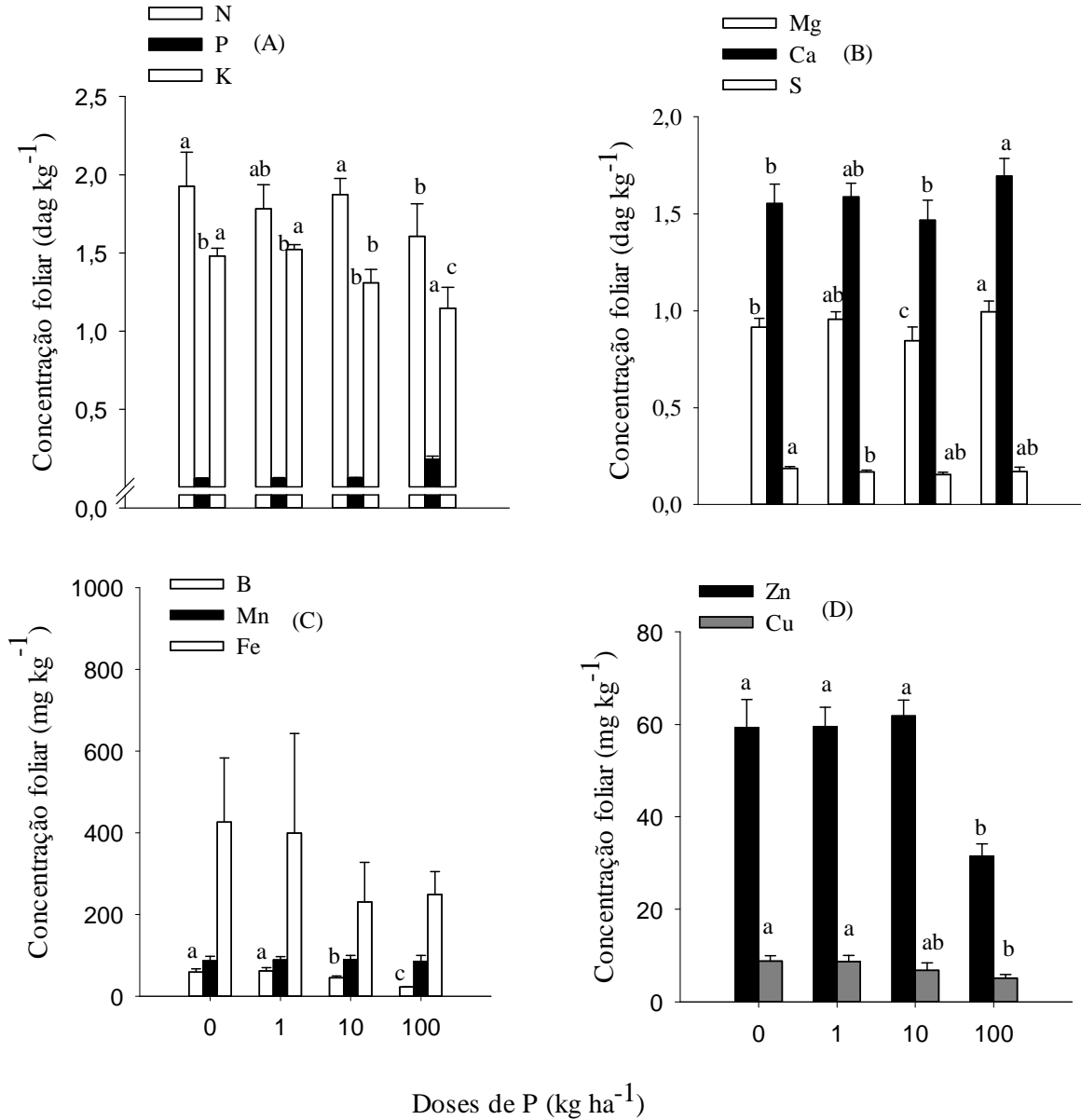


Figura 13. Efeitos de doses de P sobre a concentração de nutrientes em folha de pau-de-balsa.

A maior dose de P aplicada levou à menor concentração foliar de Cu (Figura 13D). Isso ocorreu, provavelmente, porque, segundo Malavolta (2006), há uma tendência para o acúmulo

de Cu na superfície do substrato, em função do efeito combinado de matéria orgânica e da adição de adubos e defensivo; assim, isso pode ter sido favorecido porque essas mudas (Figura 13D) foram cultivadas em um substrato orgânico: o *peat mix* (Tabela 1). Resultados similares foram registrados em mudas de cedro (SOUZA et al., 2009) e de araçá-boi (MACEDO; TEIXEIRA, 2012), todavia cultivadas em Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo Distrófico, respectivamente.

Quando o suprimento de Mn é adequado, ele acumula-se em raízes, caules e folhas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Como o fornecimento de doses de P não afetou a concentração foliar de Mn (Figura 13C), isso sugere que ele foi suprido adequadamente, porque não ocorreram sintomas visuais de deficiência; e, provavelmente, também não houve acúmulo deste. O aumento das doses de P resultou no aumento da concentração foliar de Mn em araçá-boi (MACEDO; TEIXEIRA, 2012).

Como alguns valores de parâmetros biométricos (Figuras 8A, 8B, 9A e 9B) e alguns de fisiológicos (Figuras 13A, 13B, 13C, 13D e Tabela 2D) parecem sinalizar crescimento e desenvolvimento desequilibrados (GONÇALVES et al., 2000), reforçar-se a necessidade de uma avaliação conjunta dos resultados obtidos face à aplicação de doses de P na formação de mudas dessa espécie.

Concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema

As doses de P influenciaram as concentrações dos ácidos cítrico, tartárico, málico, succínico e láctico, porém não afetaram as de oxálico, no fluido do xilema (Figuras 14A, 14B, 14C, 14 D e Tabela 2E). Embora as doses de P não tenham influenciado um desses ácidos, a concentração total deles foi influenciada (Figura 14C). Isso demonstra que relativamente a maior contribuição na concentração total é devido àqueles afetados pelos tratamentos com doses

de P; especialmente os ácidos: cítrico, succínico e málico, os quais contribuíram com maiores valores absolutos (Figuras 14B e 14C e, Tabela 2E).

Em estudos com ameixa (*Prunus salicina*) e murta (*Lagerstroemia indica*), Andersen et al. (1995) concluíram que, globalmente, um grau substancial de regulação da química do fluido do xilema ocorreu em resposta a largas mudanças na disponibilidade de água ou nutrientes no solo. Portanto, é possível que algum grau de regulação da química do fluido do xilema em mudas de pau-de-balsa também tenha ocorrido e, influenciado as respostas encontradas em função das doses de P, desde a concentração de nutrientes em folhas (Figuras 13A, 13B, 13C e 13D) até as concentrações dos ácidos orgânicos no fluido do xilema (Figuras 14A, 14B e 14C); e, em geral, o crescimento e a nutrição da planta (Figuras 8A, 8B, 8C, 9A, 9B, 9C, 9D, 10A, 10B, 10C, 4 e 5). A aplicação de solução nutritiva de Hoagland (3x) não alterou a concentração total de ácidos orgânicos no fluido do xilema de *Vitis rotundifolia* Noble e do híbrido Suwannee (*Vitis*); mas foi observado que essa fertilização influenciou o perfil químico do fluido de xilema, sendo os ácidos orgânicos a classe de compostos orgânicos que mais foi influenciada (ANDERSEN; BRODBECK, 1991).

É possível que as reduções dos ácidos cítrico e tartárico no fluido do xilema (Figuras 14A e 14B) resultaram dos aumentos nos conteúdos de N e P na parte aérea (Figuras 10B e 10C) e, particularmente da concentração foliar de P (Figuras 13A), em resposta às maiores doses de P. A forma química predominante de transporte de N no fluido do xilema é o nitrato, apesar de ser encontrado também como aminoácidos e amidas (PEUKE, 2010) e, de P são os fosfatos (WHITE, 2012); como consequência, é possível que tenham ocorrido antagonismo, no fluido do xilema, entre as moléculas de $H_2PO_4^-$ e NO_3^- e, as dos ácidos cítrico e tartárico, tal que tenha promovido o aumento no conteúdo desses nutrientes (Figuras 10B e 10C), com simultâneas reduções de dois destes ácidos: cítrico e tartárico (Figuras 14A e 14B).

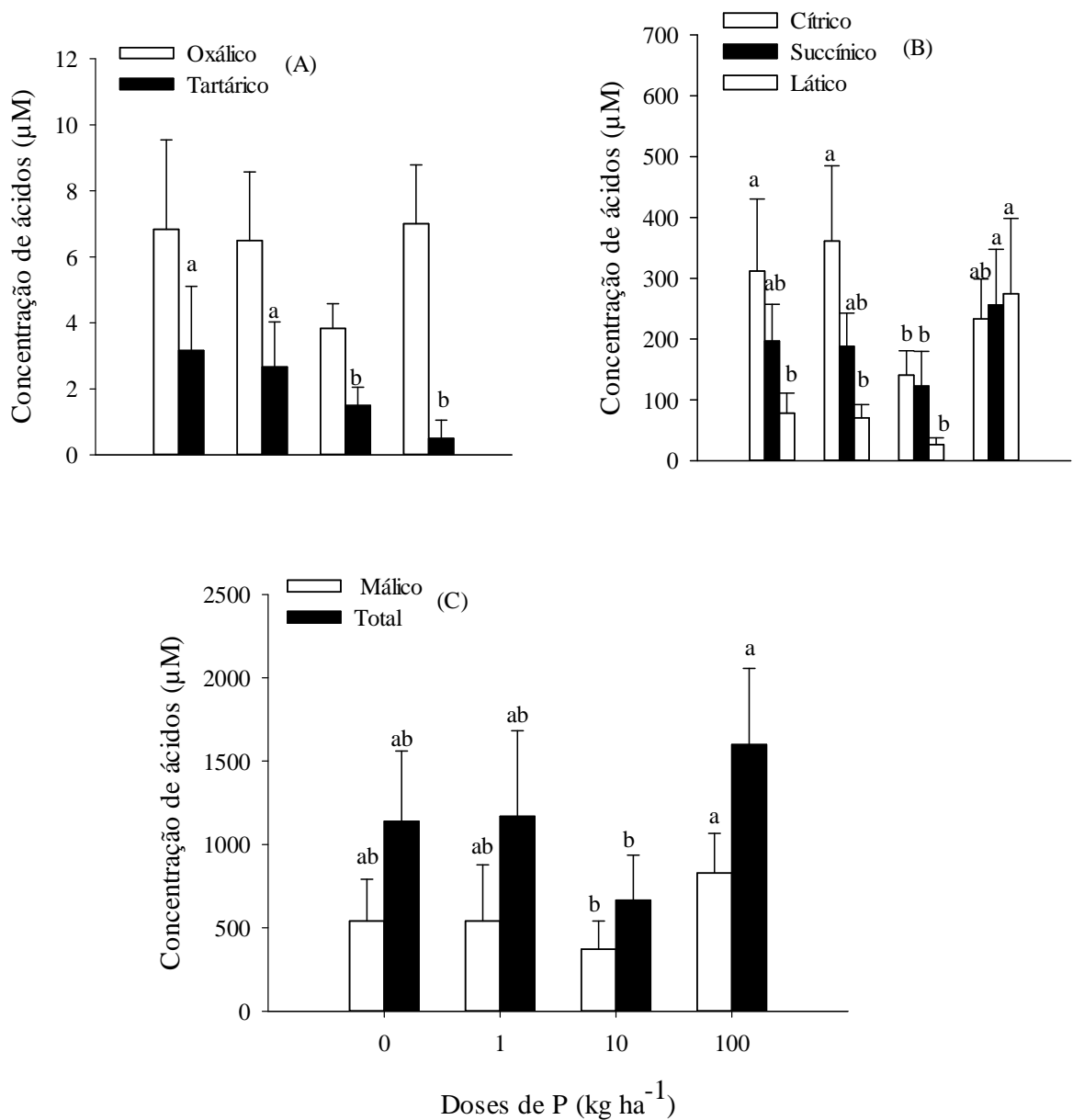


Figura 14. Efeitos de doses de P sobre a concentração de seis ácidos orgânicos no fluido do xilema de pau-de-balsa.

A aplicação de as doses de P pode ter promovido alguma interação entre a concentração foliar de K (Figura 13A) e as dos ácidos cítrico e tartárico no fluido do xilema (Figuras 14A e 14B), provavelmente devido aos grupos carboxílicos presentes nestes ácidos orgânicos,

formando ligações eletrostáticas com o K^+ (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012). Reduções nas concentrações dos ácidos cítrico e tartárico ocorreram, simultaneamente, à redução na concentração foliar de K. Outra possibilidade, é que o aumento nas concentrações dos demais ácidos, exceto o oxálico (Figuras 14A, 14B e 14C) tenha influenciado na complexa mobilidade de K entre o floema e o xilema, característica desse elemento nutriente, de acordo com Marschner (2012), mascarando os resultados. Em mudas de nectarina (*Prunus persica* x *Prunus amygdalus*) e de pêssego (*Prunus insititia*; PP 101), submetidas à adubação fosfatada, foi observada maior mobilidade de K no xilema que no floema (BALAL et al., 2011).

O aumento das doses de P reduziu a concentração foliar de S, mas aumentou as dos ácidos succínico, láctico e málico no fluido do xilema; porém, a concentração foliar de P aumentou (Figuras 13A, 13B, 14B e 14B). Essa dinâmica de transporte pode ser resultante de um balanço de cargas no fluido do xilema; porque, em geral, esses nutrientes (S e P) são carregados negativamente durante o transporte nessa via de fluxo (MARSCHNER, 2012; WHITE, 2012).

Ca, Mg, Zn e Fe são predominantemente transportados no fluido do xilema (direção raiz - parte aérea) nas formas de complexos entre eles e ácidos orgânicos (WELCH, 1995; BROADLEY et al., 2007; WHITE; BROADLEY, 2003 e 2005). Portanto, ao avaliar os aumentos nas concentrações foliares de Ca e Mg (Figuras 12C), associados aos decréscimos nas concentrações dos ácidos tartárico no fluido do xilema (Figuras 14A e 14B), supõe-se que a formação de complexos entre estes dois nutrientes e o ácido tartárico, aumentou a mobilidade de Ca e Mg no xilema (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012); além disso, a redução do ácido tartárico na planta pode ter resultado da assimilação de Ca e Mg, durante a qual ocorrem ligações de valência coordenada entre estes nutrientes e o ácido tartárico (TAIZ; ZEIGER, 2009). Possivelmente, o aumento das doses de P resultando em maior assimilação de Ca e Mg em folha (Figura 13 B), pode ter afetado também a assimilação de Zn em folha,

culminando na redução de Zn em folha (Figura 13D), além do que já foi dito sobre as interações Zn x P na solução do solo. Resultado similar foi registrado em folhas de pêssego (BALAL et al., 2011).

Como as doses de P não influenciaram na concentração de Fe e Mn em folha (Figura 13C e Tabela 2D), isso indicaria que ambos, como nutrientes no fluido do xilema parecem não ter seguido uma performance semelhante à de outros cátions: Ca, Mg e Zn; o que era previsto, uma vez que a mobilidade de Fe e Mn nessa via de fluxo é facilitada pela formação de complexos com o ácido cítrico, especialmente (WELCH, 1995; von WIRÉN et al., 1999 apud MARSCHNER, 2012; WHITE, 2012) e, as doses de P também afetaram a concentração deste ácido (Figura 14B).

A acidificação da solução do solo pela exsudação de ácidos orgânicos (de raízes) aumenta a solubilidade do Fe^{3+} (LINDSAY, 1979; BRADY; WEIL, 2002; MALAVOLTA, 2006) e, conseqüentemente sua absorção pelas raízes (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012), ocasionando um segundo possível componente causador da redução de alguns ácidos orgânicos, especialmente para as maiores doses de P. Embora, possivelmente, tenha ocorrido redução de ácido tartárico necessário para a assimilação de Fe^{3+} , a acidificação do solo (substrato), pela exsudação de ácidos orgânicos, pode tê-la compensado.

4.4 Conclusões

A doses de P influenciam positivamente os parâmetros biométricos da parte aérea, no conteúdo de C, N e P, na EUP na planta e na maioria dos ácidos orgânicos no fluido do xilema.

Entretanto, a concentração foliar de nutrientes é afetada de forma diferenciada e influenciada pelos ácidos orgânicos estudados.

As doses de P influenciam negativamente a atividade de fosfatase ácida de raiz, quando as plantas recebem doses desse nutriente maiores que o equivalente a 10 kg ha^{-1} .

Em geral, doses crescentes de P melhoram a formação das mudas, porém uma adubação equivalente a 100 kg P ha^{-1} pode causar desequilíbrio de crescimento.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, P. C.; BROBECK, B. V.; MIZEL III R. F. Diurnal variations of amino acids and organic acids in xylem fluid from *Lagerstroemia indica*: an endogenous circadian rhythm. **Physiologia Plantarum**, v. 89, p. 783-790, 1993.

ANDERSEN, P. C.; BROBECK, B.V. ; MIZEL III R. F. Water stress – and nutrient solution – mediated changes in water relations and amino acids, organics acids, and sugars in xylem fluid of *Prunus salicina* and *Lagerstroemia indica*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n.1, p. 36-42, 1995.

ANDERSEN, P. C.; BRODBECK, B.V. Influence of fertilization on xylem fluid chemistry of *Vitis rotundifolia* Noble and *Vitis* hybrid Suwannee. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 42, n.3, p. 245-251, 1991.

BALAL, R. M.; GIMENO, V; SHADI, M. A.; LINDON, V.; GARCIA, A.L.; ABBAS, T.; GARCIA-SHANCHEZ, F., GHAZANFER, U. Effects of phosphorus fertilization on growth, leaf mineral concentration and xylem-phloem nutrient mobility in two rootstocks of prunus (*Prunus persica* x *Prunus amygdalus*) and (*Prunus insistitia*) in the Mediterranean area. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 12, p. 1542-1549, 2011.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 921-950, 2001.

BALOTA, L. B.; MACHINESKI, O.; SCHERER, A. Mycorrhizal effectiveness on physic nut as influenced by phosphate fertilization levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 23-32, 2012.

BARBOSA, A. P.; SAMPAIO, P. de T. B.; CAMPOS, M. A. A.; VARELA, V. P.; GONÇALVES, C. de Q. B.; LIDA, S. Tecnologia alternativa para a quebra de dormência das sementes de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* Sw., Bombacaceae). **Acta Amazonica**, v. 34, n. 1, p. 107-110, 2004.

BOVI M. L. A.; BASSO L. C.; TUCCI M. L. C. Avaliação da atividade “*in vivo*” da fosfatase ácida e do crescimento de progênies de pupunha cultivadas em duas doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 427-434, 1998.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Soil phosphorus and Potassium, chapter 14, p. 592-635, In: **The nature and proprieties of soils**. BRADY, N. C.; WEIL, R. R. 13. ed. New Jersey: Library of Congress Cataloging in-Publication Data. Prentice Hall, 2002. 960 p.

BROABECK, B. V.; STAVISKY, J.; FUNDERBURK, L. E.; ANDERSEN, P. C.; OLSON, S. M. Flower nitrogen status and populations of *Frankliniella occidentalis* feeding on *Lycopersicon sculentum*. **Entomologia experimentalis et applicate**, v. 99, p. 165-172, 2001.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J.P.; ZELKO, I; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist Journal**, v. 173, p. 677-702, 2007.

BRONDANI, G. E.; SILVA, A. J. C.; ARAUJO, M. A. de; WENDLING, I.; CARPANEZZI, A. A. Phosphorus nutrition in the grow of *Bauhinia forficata* L. seedlings. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 665-671, 2008.

CAIONE, G.; LANGE, A; SCHONINGER, E. L. Growth of seedlings *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) on substrate fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 213-221, 2012.

CARDOSO, A. A. de S; SANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C.A.F.; FARIAS, E.P.; MOURA, R. P. de M. M. Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial de mogno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 1-10, 2015.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campus: UENF, 1995. 451p.

CASAROLI, D.; van LIER, J. Q. Critérios para a determinação da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 59-66, 2008.

CLINEBELL, R. R.; PHILLIPS, O. L; STARK, N.; ZUURING, H. Prediction of neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. **Biodiversity and Conservation**, v. 4, p. 56-90, 1995.

COSTA FILHO, R.T.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P. Calagem e adubação fosfatada no crescimento de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* (Benth.) em latossolo vermelho-amarelo. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 89-98, 2013.

DAS, J.; COMERFORD, N. B.; WRIGHT, D.; MAROIS, J.; MACKOWIAK, C. Development of a phosphatase activity assay using excised plant roots. **Soil Research**, v. 52, p. 193-202, 2014.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília. 1999. 370 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 404 p.

FLORIANO, E. P. Germinação e dormência de sementes florestais. **Associação de Pesquisa, Educação e Proteção Ambiental do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (ANORGS)**. Santa Rosa (Brasil), v. 2, 2004. 19 p. (Caderno didático).

FOCHO, D. A.; ENEKE, B.; EGBE, A.; FONGOD, A. G.; FONGE, B. A.; NJOH, R. N. Effects of organic and inorganic fertilizers on early growth characteristics of *Khaya ivorensis* Chev (African mahogany) in nursery. **African Journal of Plant Science**, v. 5, n. 12, p. 722-729, 2011.

FOWLER, A. J. P.; BIANCHETTI, A. **Dormência em sementes florestais**. Colombo (Brasil): Embrapa Florestas, 2000. 27 p. (Documentos, 40)

FREIBERGER, M. B.; GUERRINI, I. A.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. G. Adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 232-239, 2014.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAESNETO, S. P. Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, p. 463-469, 1992.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAESNETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES J. L. M.; BENEDETTI, V. (organizadores). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba (Brasil): Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), p. 309-350, 2000.

HARTEMINK, A. E. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. **Advances in Agronomy**, v. 89, p.179-225, 2006.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

KROEHLER, C. J.; LINKINS, A. E. The root surface phosphatases of *Eriophorum vaginatum*: Effects of temperature, pH, substrate concentration on inorganic phosphorus. **Plant and Soil**, v. 105, p. 3-10, 1988.

LINDAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley, 1979. 449p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ed. São Paulo (Brasil): Nova Odessa - Instituto Plantarum, 1998. 352pp.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F.; ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia**. v. 2. Manaus: Instituto Nacional da Amazônia-INPA, 1979. 187 p.

LYNCH, J. P.; HO, M. D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, v. 269, p. 45-56, 2005.

MACEDO, S. T. de; TEIXEIRA, P. C. Calagem e adubação fosfatada para a formação de mudas de araçá-boi. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 3, p. 405-412, 2012.

MACFALL, J.; SLACK, A. S. Effects of *Hebeloma arenosa* and phosphorus fertility on roots acid phosphatase activity of red pine (*Pinus resinosa*) seedlings. **Canadian Journal Botany**, v. 69, p. 380-393, 1991.

MAIA-ALMEIDA, C. I.; PARON, M. E.; CÉZAR, V. R.S.; FERNANDES, D. M., FERNANDES, L. A.; MING, L.C. Efeito dos níveis de fósforo no crescimento inicial, biomassa e atividade *in vivo* da fosfatase ácida em *Lychnophora ericoides* Mart. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 10, n. 3, p. 96-103, 2008.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 2 ed. São Paulo (Brasil): Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa (Brasil): Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AQAC INTERNATIONAL, chapter 3, **AQAC Official Method 985.01**, 1980. 4 p.

OLIVEIRA, P. C. de; CARVALHO, C. J. R. de. Rizosferas de arvores acumuladoras de fosforo na Amazônia brasileira. **Universitas Scientiarum**, v. 16, n. 2, p. 111-118, 2011.

PAULA, R. C. de; PAULA, N. F. de; VALERI, S. S.; CRUZ, M. C. P. de; TOLFO, A. L. T. Controle genético da eficiência de utilização de fósforo em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus grandis*, em casa de vegetação. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 25-34, 2003.

PEUKE, A. D. Correlations in concentrations, xylem and phloem and flows, and partitioning of elements and ions in intact plants. A summary and statistical re-evaluation of modeling experiments in *Ricinus communis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 635-655, 2010.

REID, M. S.; BIELESKI, R. L. Changes in phosphatase activity in phosphorus-deficient Spirodela. **Planta**, v. 94, p. 273-281, 1970.

ROSOLEM, C. A.; MERLIN, A.; BULL, J. C. L. Soil phosphorus dynamics as affected by Congo grass and P fertilizer. **Scientia Agricola**, v.71, n. 4, p. 309-315, 2014.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; UTIMA, A. Y; MILANI, J. E. de F.; MONZANI, R. M. Fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de *Gallesia integrifolia* (Spring.) Harms. **Revista Agrocientífica**, v. 1, n. 1, p. 23-32, 2014.

SAEG - **Sistema para análises estatísticas**, versão 9.1: FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES, UFV, Viçosa, 2007.

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008a.

SANTOS, R. A.; TUCCI C. A. F.; HARA, F. A. dos S.; SILVA, W. G. da. Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 453-458, 2008b.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, C. E. M.; GONÇALVES, J. F. de C.; FELDPAUSCH, T. R.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, R. R.; RIBEIRO, G. O. Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 503-512, 2006.

SOUZA, M. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

SOUZA, N. H. de; MARCHETTI, M. E.; CARNEVALI, T. de O., RAMOS, D. D.; SCALON, S. de P. Q.; SILVA, E. F. da. Estudo nutricional da canafistula (II): eficiência nutricional em função da adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 803-812, 2012.

SOUZA, P. A. de, VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G. de; VENTURI, R. P.; TUCCI, C. A. F.; MAESTRO, C. L. Nutricional assessment of cedar seedlingS (*Cedrela fissilis* Vell.) grown in a greenhouse. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 236-243, 2009.

STOORVOGEL, J. J.; SMALING, E. M. A. Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 50, p. 151-158, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TARAFDER, J. C.; CLASSEN, N. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. **Biology and Fertility of Soils**, v. 5, p. 308–312, 1988.

TSAKALDIMI, M.; GANATSAS, P.; JACOBS, D. F. Prediction of planted seedling survival of live Mediterranean species based on initial seedling morphology. **New Forests**, v. 44, p. 327-339, 2013.

TUCCI, C. A. F., SANTOS, J. Z. L.; SILVA JUNIOR, C. H. da; SOUZA, P. A. de; BATISTA, I. M. P., VENTURIN, N. Desenvolvimento de mudas de *Swietenia macrophylla* em resposta a nitrogênio, fósforo e potássio. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 471-490, 2011.

VAZQUEZ-PINEDO, M.; ZARIN D. J.; PADOCH, C.; RABELO, F. Post-boom logging in Amazonia. **Human Ecology**, v. 29, n. 2, 219-239, 2001.

VIEIRA, T. A. S. **Crescimento e eficiência nutricional de leguminosas arbóreas pioneiras e não pioneiras**. 2013. 74f. (Magister Scientiae em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, MG.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Citriculture Review Plant Science**, v. 14, p. 49-82, 1995.

WHITE, J. P. **Long-distance transport in the xylem and phloem**, p. 49-70. In: MARSCHNER, P. Mineral nutrition of higher plants. 3ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in diets human-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytology**, v. 182, p. 49-84, 2005.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 92, p. 487-511, 2003.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mogno:

1. Doses crescentes de P influenciaram positivamente nos parâmetros de crescimento na parte aérea e na concentração foliar de nutrientes; mas, de forma negativa na concentração da maioria dos ácidos orgânicos no fluido do xilema, os quais alteraram a concentração foliar de nutrientes.
2. Ao aumentar as doses de P, em geral, houve decréscimo na eficiência de utilização de P na planta como um todo.
3. Embora as doses de P não tenham influenciado a atividade de fosfatase, foi possível detectar correlações inversas entre ela, parâmetros de crescimento e quantidades acumuladas de N e P em folha, caule e raiz.

Pau-de-balsa:

4. As doses de P influenciam positivamente os parâmetros biométricos da parte aérea, no conteúdo de C, N e P, na EUP na planta e na maioria dos ácidos orgânicos no fluido do xilema.
5. Entretanto, a concentração foliar de nutrientes é afetada de forma diferenciada e influenciada pelos ácidos orgânicos estudados.
6. As doses de P influenciam negativamente a atividade de fosfatase ácida de raiz, quando as plantas recebem doses desse nutriente maiores que o equivalente a 10 kg ha^{-1} .

Em geral, doses crescentes de P melhoram a formação de mudas de mogno e de pau-de-balsa; porém, uma adubação equivalente a 100 kg P ha^{-1} pode causar desequilíbrio de crescimento em pau-de-balsa.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, P. C.; BROBECK, B.V. ; MIZEL III R. F. Water stress – and nutrient solution – mediated changes in water relations and amino acids, organics acids, and sugars in xylem fluid of *Prunus salicina* and *Lagerstroemia indica*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n.1, p. 36-42, 1995.

ANDERSEN, P. C.; BRODBECK, B.V. Influence of fertilization on xylem fluid chemistry of *Vitis rotundifolia* Noble and *Vitis* hybrid Suwannee. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 42, n.3, p. 245-251, 1991.

ARAÚJO, M. N. DE; ARAÚJO, A. J. de. **Arborização urbana no Paraná**. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA – PR, ano 2011. 36p. (Serie Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Bracelpa – multimídia associada aos sindicatos do setor florestal brasileiro (Jornal online, 10 de julho de 2010)**. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF – 2012, ano base 2011**. Brasília, DF: ABRAF, 2012. 150p.

BALAL, R. M.; GIMENO, V; SHADI, M. A.; LINDON, V.; GARCIA, A.L.; ABBAS, T.; GARCIA-SHANCHEZ, F., GHAZANFER, U. Effects of phosphorus fertilization on growth, leaf mineral concentration and xylem-phloem nutrient mobility in two rootstocks of prunus (*Prunus persica* x *Prunus amygdalus*) and (*Prunus insititia*) in the Mediterranean area. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 12, p. 1542-1549, 2011.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 921-950, 2001.

BALOTA, L. B.; MACHINESKI, O.; SCHERER, A. Mycorrhizal effectiveness on physic nut as influenced by phosphate fertilization levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 23-32, 2012.

BARBOSA, A. P.; SAMPAIO, P. de T. B.; CAMPOS, M. A. A.; VARELA, V. P.; GONÇALVES, C. de Q. B.; LIDA, S. Tecnologia alternativa para a quebra de dormência das sementes de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* Sw., Bombacaceae). **Acta Amazonica**, v. 34, n. 1, p. 107-110, 2004.

BARROS, N. F. de; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Nutrição e adubação de eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 186, p. 70 – 75, 1997.

BESFORD, R. T.; Phosphorus nutrition and acid phosphatase activity in leaves of seven plant species. **Journal of the Science Food Agriculture**, v. 30, p. 281 -285, 1979.

BIELESKI, R.L.; FERGUSON, I. B.; Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: LAUCHLI, A; BIELESKI, R.L. **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer – Verlag. 1983, p. 422 – 449.

BLUNDELL, A. G.; GULLISON, R. E. Poor regulatory capacity limits the ability of science to influence the management of mahogany. **Forest Policy and Economics**, v. 5, p. 395-405, 2003.

BOVI M. L. A.; BASSO L. C.; TUCCI M. L. C. Avaliação da atividade “*in vivo*” da fosfatase ácida e do crescimento de progênies de pupunha cultivadas em duas doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 427-434, 1998.

BRONDANI, G. E.; SILVA, A. J. C.; ARAUJO, M. A. de; WENDLING, I.; CARPANEZZI, A. A. Phosphorus nutrition in the grow of *Bauhinia forficata* L. seedlings. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 665-671, 2008.

CARDOSO, A. A. de S; SANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C.A.F.; FARIAS, E.P.; MOURA, R. P. de M. M. Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial de mogno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 1-10, 2015.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campus: UENF, 1995. 451p.

CLARK, C. J.; HOLLAND, P. T.; SMITH, G. S. Chemical composition of bleeding xylem sap from kiwi fruit vines. **Annals of Botanic**, v. 58, p. 353 - 362, 1986.

CLARKSON, D. T. Regulation of the absorption and release of nitrate by plant cells: A review of current ideas and methodology. In: Fundamental Ecological and Agricultural Aspects of nitrogen metabolism in higher plants. In: LAMBERS, H; NEETESON, J. J.; STULEN, I (eds.), 3-27 pp. Martin Nijhoff Publishers. Dordrecht Netherlands, 1986.

CLINEBELL, R. R.; PHILLIPS, O. L; STARK, N.; ZUURING, H. Prediction of neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. **Biodiversity and Conservation**, v. 4, p. 56-90, 1995.

CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, v. 19, p. 292 – 305, 2009.

COSTA FILHO, R.T.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P. Calagem e adubação fosfatada no crescimento de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* (Benth.) em latossolo vermelho-amarelo. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 89-98, 2013.

CRAVO, M.S.; SMYTH, J. T. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazonia Central sob ultivos sucessivos. XX Reuniao Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutricao de Plantas, SBCS: Piracicaba, SP, p. 608 - 616, 1992.

DAS, J.; COMERFORD, N. B.; WRIGHT, D.; MAROIS, J.; MACKOWIAK, C. Development of a phosphatase activity assay using excised plant roots. **Soil Research**, v. 52, p. 193-202, 2014.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 404 p.

FOCHO, D. A.; ENEKE, B.; EGBE, A.; FONGOD, A. G.; FONGE, B. A.; NJOH, R. N. Effects of organic and inorganic fertilizers on early growth characteristics of *Khaya ivorensis* Chev (African mahogany) in nursery. **African Journal of Plant Science**, v. 5, n. 12, p. 722-729, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. States of the world's forests, 2007. FAO, 2007, Rome, 2007.

FREIBERGER, M. B.; GUERRINI, I. A.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. G. Adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 232-239, 2014.

GAZAL, R. M.; BLANCHE, C. A.; CARANDANG, W. M. Root growth potential and seedling morphological attributes of narra (*Pterocarpus indicus* Wiild.) transplants. **Forest Ecology and Management**, v. 195, p. 259 – 266, 2004.

GOMES, J. M; COUTO, L.; LEITE, H. C.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Arvore**, v. 26, n. 6, p. 655 – 654, 2002.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G; MORAESNETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES J. L. M.; BENEDETTI, V. (organizadores). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba (Brasil): Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), p. 309-350, 2000.

HARTEMINK, A. E. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. **Advances in Agronomy**, v. 89, p.179-225, 2006.

LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variations in growth rate between higher plants: A research for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research*, San Diego, v. 23, p. 188 -261, 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ed. São Paulo (Brasil): Nova Odessa - Instituto Plantarum, 1998. 352pp.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F.; ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia**. v. 2. Manaus: Instituto Nacional da Amazônia-INPA, 1979. 187 p.

LYNCH, J. P.; HO, M. D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, v. 269, p. 45-56, 2005.

MAIA-ALMEIDA, C. I.; PARON, M. E.; CÉZAR, V. R.S.; FERNANDES, D. M., FERNANDES, L. A.; MING, L.C. Efeito dos níveis de fósforo no crescimento inicial, biomassa e atividade *in vivo* da fosfatase ácida em *Lychnophora ericoides* Mart. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 10, n. 3, p. 96-103, 2008.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 2 ed. São Paulo (Brasil): Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. **Fertilização mineral de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden)**. In Barros, N.F. e NOVAIS, R. F. (eds). *Relação Solo-Eucalipto*. Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, p. 36 – 47. 1990.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa (Brasil): Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, P. C. de; CARVALHO, C. J. R. de. Rizosferas de arvores acumuladoras de fosforo na Amazônia brasileira. **Universitas Scientiarum**, v. 16, n. 2, p. 111-118, 2011.

OSMOND, C. D. Acid metabolism in Atriplex. Regulation in oxalate synthesis by the apparent excess cations absorption. **Australian Journal Biological Science**, v. 20, p. 575 – 587, 1978.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. Fatos florestais da Amazônia. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON, 2010. 126p.

PEUKE, A. D. Correlations in concentrations, xylem and phloem and flows, and partitioning of elements and ions in intact plants. A summary and statistical re-evaluation of modeling experiments in *Ricinus communis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 635-655, 2010.

POORTER, H. Leaf area ratio net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Journal of Ecology*, v. 18, p. 553 – 559, 1990.

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008a.

SARCINELLI, T. S.; RIBEIRO JÚNIOR, E. S.; DIAS, L. E.; LYNCH, L. S. Nutrient deficiency symptoms in seedlings of *Acacia holosericea* in response to the omission of macronutrients. *Revista Árvore*, v. 28, n. 2, p. 173 – 181, 2004.

SERVIÇO NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS- SNIF, 2015. Brasília, DF, 02 de fevereiro de 2015. **Serviço Florestal Brasileiro**, 2015.

SHONO, K.; SNOOK, L. K. Growth of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in natural forest in Belize. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 66-73, 2006.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, C. E. M.; GONÇALVES, J. F. de C.; FELDPAUSCH, T. R.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, R. R.; RIBEIRO, G. O. Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 503-512, 2006.

SILVA, F. C.; BASSO, L.C. Avaliação da atividade *in vivo* da fosfatase ácida da folha na nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v. 17, n. 3, p. 371 – 375, 1993.

SOUZA, C. A. S. de; TUCCI, C. A. F.; SILVA, J. F. da; RIBEIRO, W. O. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). *Acta Amazonica*, v. 40, n. 3, p. 515-522, 2010.

SOUZA, N. H. de; MARCHETTI, M. E.; CARNEVALI, T. de O., RAMOS, D. D.; SCALON, S. de P. Q.; SILVA, E. F. da. Estudo nutricional da canafistula (II): eficiência nutricional em função da adubação com nitrogênio e fósforo. *Revista Árvore*, v. 36, n. 5, p. 803-812, 2012.

STOORVOGEL, J. J.; SMALING, E. M. A. Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 50, p. 151-158, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TARAFDER, J. C.; CLASSEN, N. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. *Biology and Fertility of Soils*, v. 5, p. 308–312, 1988.

TIMPA, J. D.; BURKE, J. J.; QUISENBERRY, J. E.; WENDT, C. W. Effects of water stress on the organic acid and carbohydrate composition of cotton plants. *Plant Physiologic*, v. 82, p. 724 – 728, 1986.

TSAKALDIMI, M.; GANATSAS, P.; JACOBS, D. F. Prediction of planted seedling survival of live Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests*, v. 44, p. 327-339, 2013.

TUCCI, C. A. F., SANTOS, J. Z. L.; SILVA JUNIOR, C. H. da; SOUZA, P. A. de; BATISTA, I. M. P., VENTURIN, N. Desenvolvimento de mudas de *Swietenia macrophylla* em resposta a nitrogênio, fósforo e potássio. *Floresta*, v. 41, n. 3, p. 471-490, 2011.

TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; GAMA, A. da SILVA; COSTA, H. S.; SOUZA, P.A.de. Efeitos de doses crescentes de calcário em solo Latossolo Amarelo na produção de mudas de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* SW., Bombacaceae). *Acta Amazonica*, v. 40, n. 3, 543-548, 2010.

VAZQUEZ-PINEDO, M.; ZARIN D. J.; PADOCH, C.; RABELO, F. Post-boom logging in Amazonia. *Human Ecology*, v. 29, n. 2, 219-239, 2001.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Citriculture Review Plant Science**, v. 14, p. 49-82, 1995.

WHITE, J. P. **Long-distance transport in the xylem and phloem**, p. 49-70. In: MARSCHNER, P. Mineral nutrition of higher plants. 3ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in diets human-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytology**, v. 182, p. 49-84, 2005.

WHITE, P. J.; GEORGE, T. S.; GREGORY, P. J.; BENGOUGH, A. G.; HALLETT, P. D.; MCKENZIE, B. M. View point: Part of a special issue on Matching roots to their environment. **Annals of Botany**, v. 112, p. 207 – 222, 2013.

APÊNDICE

TABELA 1A – Parâmetros biométricos em mudas de mogno.

Tratamentos (kg P ha ⁻¹)	Variáveis de crescimento									
	H (cm)	D (mm)	AF (cm ²)	MSF (g)	MSC (g)	MSR ^{n.s} (g)	MSPA (g)	MST (g)	H/D (cm/mm)	IDQ
0	25,53 b	4,47 b	333,7 b	2,67 c	1,51 b	1,03	4,18 c	5,21 c	5,77 b	0,534 c
1	25,43 b	4,66 ab	356,2 b	2,80 c	1,66 b	1,14	4,45 c	5,59 c	5,51 b	0,596 bc
10	27,54 b	4,95 a	596,2 b	4,17 b	2,10 b	1,29	6,28 b	7,56 b	5,62 b	0,724 ab
100	34,78 a	5,43 a	1359,3 a	8,16 a	3,30 a	1,13	11,47 a	12,59 a	6,43 a	0,758 a

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo. H = altura; D = diâmetro do colo; AF = área foliar; MSF = massa seca de folha; MSC = massa seca de caule; MSR = massa seca de raízes; MSPA = massa seca da parte aérea; MST = massa seca total; H/D = índice de qualidade de mudas; IQD = índice de qualidade de Dickson.

TABELA 1B – Concentração de C, N e P em raiz, caule e folha em mudas de mogno, em dag kg⁻¹ (%).

Tratamentos (kg ha ⁻¹)	Carbono, nitrogênio e fósforo nos tecidos de mogno								
	CF ^{n.s}	CC ^{n.s}	CR ^{n.s}	NF	NC	NR	PF	PC	PR
0	48,3	45,7	45,7	1,90 c	0,63 b	1,08 b	0,067bc	0,033 b	0,058 b
1	49,0	46,7	47,4	1,95 c	0,63 b	0,97 b	0,064 c	0,030 b	0,045 b
10	48,8	46,2	46,1	2,29 b	0,72 b	1,03 b	0,087 b	0,097 b	0,052 b
100	48,8	46,5	46,6	2,69 a	1,29 a	1,42 a	0,233 a	0,269 a	0,244 a

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo. CF = carbono em folha; CC = carbono em caule; CR = carbono em raiz; NF = nitrogênio em folha; NC = nitrogênio em caule; NR = nitrogênio em raiz; PF = fósforo em folha; PC = fósforo em caule; PR = fósforo em raiz

TABELA 1C – Conteúdo de C, N e P em raiz, caule e folha em mudas de mogno, em mg planta⁻¹.

Tratamentos (kg ha ⁻¹)	Carbono, nitrogênio e fósforo nos tecidos de mogno								
	Cf	Cc ^{n.s}	Cr ^{n.s}	Nf	Nc	Nr	Pf	Pc	Pr
0	1291 c	691	472	50,7 c	9,5 b	11,1 b	1,77 b	0,49 b	0,58 b
1	1368 bc	778	540	54,3 c	10,5 b	11,1 b	1,77 b	0,50 b	0,51 b
10	2035 b	973	595	95,6 b	15,3 b	13,1 ab	3,60 b	1,62 b	0,67 b
100	4009 a	1531	525	219,9 a	43,0 a	16,1 a	18,80 a	8,94 a	2,78 a

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo. Cf = carbono em folha; Cc = carbono em caule; Cr = carbono em raiz; Nf = nitrogênio em folha; Nc = nitrogênio em caule; Nr = nitrogênio em raiz; Pf = fósforo em folha; Pc = fósforo em caule; Pr = fósforo em raiz

TABELA 1D – Concentração foliar de nutrientes em mudas de mogno: macro em dag kg⁻¹ e, micronutrientes em mg kg⁻¹.

Tratamentos (kg ha ⁻¹)	Concentração foliar de nutrientes										
	N	P	K	Mg	Ca	S	B	Zn ^{n.s}	Mn	Fe ^{n.s}	Cu
0	1,72 b	0,055 c	1,47 c	0,47 b	1,45 c	0,17 c	56,8 a	14,3	18,8 c	146,8	5,17 a
1	2,00 ab	0,055 c	1,47 c	0,46 b	1,50 bc	0,17 c	56,7 a	14,8	19,3 c	149,0	5,50 a
10	2,43 a	0,075 b	1,81 b	0,47 b	1,61 b	0,18 b	49,0 b	15,3	24,0 b	148,0	4,67 ab
100	2,53 a	0,240 a	2,09 a	0,63 a	2,08 a	0,25 a	38,3 c	15,8	35,7 a	131,7	3,67 b

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo.

TABELA 1E – Concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema de mudas de mogno, em µM.

Tratamentos (kg ha ⁻¹)	Ácidos orgânicos no fluido do xilema						
	Oxálico	Cítrico	Tartárico	Málico	Succínico ^{n.s}	Lático ^{n.s}	Total
0	4 a	117 a	11 a	468 a	95	81	776 a
1	3 ab	122 a	10 a	441 ab	92	86	752 a
10	2 bc	107 a	6 b	340 b	118	86	658 ab
100	1 c	69 b	3 c	217 b	98	119	506 b

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo.

TABELA 1F – Eficiência de utilização de P (EUP) [$\text{g}^2/(\text{mg kg}^{-1})$] em folha, caule e raiz, e atividade de fosfatase ácida de raiz (mg de P mineralizado g de raiz incubada⁻¹) de mudas de mogno.

Tratamentos (kg ha ⁻¹)	EUP e atividade de fosfatase ácida de raiz			
	EUP em folha	EUP em caule	EUP em raiz	Ativ. de fosfatase ^{n.s}
0	4,054 bc	4,648 a	1,936 a	3,18
1	4,536 ab	5,639 a	2,567 a	3,35
10	4,874 a	5,261 a	2,487 a	3,51
100	3,595 c	1,238 b	0,465 b	3,03

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo.

TABELA 2A – Parâmetros biométricos em mudas de pau-de-balsa.

Tratamentos (kg P ha ⁻¹)	Variáveis de crescimento									
	H (cm)	D (mm)	AF (cm ²)	MSF (g)	MSC (g)	MSR (g)	MSPA (g)	MST (g)	H/D (cm/mm)	IDQ
0	10,19 c	4,54 c	110,3 b	1,43 b	0,42 b	0,66 c	1,84 c	2,50 c	2,25 b	0,494 c
1	10,64 c	4,66 c	121,9 b	1,55 b	0,46 b	0,75 c	2,02 c	2,27 bc	2,29 b	0,554 c
10	22,52 b	8,53 b	630,2 b	5,67 b	2,20 b	2,78 b	7,87 b	10,65 b	2,64 b	1,945 b
100	92,55 a	19,66 a	7300,9 a	36,36 a	27,23 a	16,64 a	63,59 a	80,22 a	47,09 a	9,394 a

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; *não significativo. H = altura; D = diâmetro do colo; AF = área foliar; MSF = massa seca de folha; MSC = massa seca de caule; MSR = massa seca de raízes; MSPA = massa seca da parte aérea; MST = massa seca total; H/D = índice de qualidade de mudas; IQD = índice de qualidade de Dickson.

TABELA 2B – Concentração de C, N e P em raiz, caule e folha em mudas de pau-de-balsa, em dag kg⁻¹ (%).

Tratamentos (kg ha ⁻¹)	Carbono, nitrogênio e fósforo nos tecidos de pau-de-balsa								
	CF ^{n.s}	CC	CR ^{n.s}	NF	NC	NR	PF	PC	PR
0	43,5	40,9 c	42,9	2,02 a	1,84 a	1,82 a	0,067 b	0,041 b	0,064 b
1	44,7	40,8 c	41,7	1,99 a	1,86 a	1,78 a	0,066 b	0,040 b	0,064 b
10	45,1	43,0 b	41,6	2,01 a	1,49 b	1,67 a	0,071 b	0,042 b	0,064 b
100	46,1	46,2 a	42,3	1,76 b	0,61 c	0,93 b	0,190 a	0,101 a	0,109 a

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo. CF = carbono em folha; CC = carbono em caule; CR = carbono em raiz; NF = nitrogênio em folha; NC = nitrogênio em caule; NR = nitrogênio em raiz; PF = fósforo em folha; PC = fósforo em caule; PR = fósforo em raiz

TABELA 2C – Conteúdo de C, N e P em raiz, caule e folha de mudas em pau-de-balsa, em mg planta⁻¹.

Tratamentos (kg ha ⁻¹)	Carbono, nitrogênio e fósforo nos tecidos de pau-de-balsa								
	Cf	Cc	Cr	Nf	Nc	Nr	Pf	Pc	Pr
0	618 c	171 b	282 c	28,8 b	7,7 c	12,0 c	0,96 b	0,17 b	0,43 b
1	693 c	189 b	311 c	30,8 b	8,6 c	13,3 c	1,02 b	0,18 b	0,48 b
10	2565 b	945 b	1157 b	114,5 b	32,1 b	46,8 b	4,03 b	0,93 b	1,79 b
100	16716 a	12602 a	7025 a	639,7 a	164,0 a	154,6 a	68,59 a	26,79 a	18,14 a

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Cf = carbono em folha; Cc = carbono em caule; Cr = carbono em raiz; Nf = nitrogênio em folha; Nc = nitrogênio em caule; Nr = nitrogênio em raiz; Pf = fósforo em folha; Pc = fósforo em caule; Pr = fósforo em raiz

TABELA 2D – Concentração foliar de nutrientes em mudas de pau-de-balsa: macro em dag kg^{-1} e, micronutrientes em mg kg^{-1} .

Tratamentos (kg ha^{-1})	Concentração foliar de nutrientes										
	N	P	K	Mg	Ca	S	B	Zn	Mn ^{n.s}	Fe ^{n.s}	Cu
0	1,93 a	0,057 b	1,48 a	0,92 b	1,55 b	0,19 a	59,2 a	59,3 a	88,7	426	8,83 a
1	1,78 ab	0,058 b	1,52 a	0,96 ab	1,59 ab	0,17 b	61,7 a	59,5 a	88,3	399	8,67 a
10	1,87 a	0,062 b	1,31 b	0,85 c	1,47 b	0,16 ab	45,2 b	61,8 a	90,0	231	6,83 ab
100	1,61 b	0,182 a	1,15 c	1,00 a	1,70 a	0,17ab	22,2 c	31,5 b	85,0	248	5,17 b

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo.

TABELA 2E – Concentração de ácidos orgânicos no fluido do xilema em mudas de pau-de-balsa, em μM .

Tratamentos (kg ha^{-1})	Ácidos orgânicos no fluido do xilema						
	Oxálico ^{n.s}	Cítrico	Tartárico	Málico	Succínico	Lático	Total
0	7	312 a	3 a	541 ab	197 ab	79 b	1139 ab
1	7	361 a	3 a	540 ab	188 ab	71 b	1169 ab
10	4	140 b	1 b	371 b	123 b	26 b	667 b
100	7	233 ab	1 b	828 a	256 a	275 a	1599 a

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; n.s = não significativo.

TABELA 2F – Eficiência de utilização de P (EUP) [$\text{g}^2/(\text{mg kg}^{-1})$] em folha, caule e raiz e, atividade de fosfatase ácida de raiz (mg de P mineralizado g de raiz incubada⁻¹) de mudas de pau-de-balsa.

Tratamentos (Kg ha ⁻¹)	EUP e atividade de fosfatase ácida de raiz			
	EUP em folha	EUP em caule	EUP em raiz	Ativ. de fosfatase ^(a)
0	2,119 c	1,011 b	1,021 c	4,40 a
1	2,358 c	1,175 b	1,166 c	4,32 a
10	7,986 b	5,200 b	4,326 b	3,29 b
100	19,474 a	28,681 a	15,331 a	3,24 b

Nota: Médias seguidas com letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade; ^(a)esta característica foi significativamente diferente com o teste Tukey ajustado a 10% de probabilidade.