



JOÃO FAUSTINO MUNGUAMBE

**MINERAL NUTRITION OF *Acrocarpus
fraxinifolius* Wight & Arn. GROWN IN
GREENHOUSE AND UNDER FIELD
FERTILIZATION**

**LAVRAS-MG
2018**

JOÃO FAUSTINO MUNGUAMBE

**MINERAL NUTRITION OF *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.
GROWN IN GREENHOUSE AND UNDER FIELD FERTILIZATION**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Nelson Venturin
Orientador

Profa. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio(a) autor(a).

Munguambe, João Faustino

Mineral nutrition of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. grown in
greenhouse and under field fertilization/ João Faustino Munguambe - 2018.
131 p.: il.

Orientador: Nelson Venturin.

Coorientadora: Maria Lígia de Souza Silva.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Silvicultura. 2. Nutrição Florestal. 3. *Acrocarpus fraxinifolius*. I.
Venturin, Nelson. II. Silva, Maria Lígia de Souza. III. Título.

JOÃO FAUSTINO MUNGUAMBE

**NUTRIÇÃO MINERAL DO *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. EM
CASA DE VEGETAÇÃO E ADUBAÇÃO NO CAMPO**

**MINERAL NUTRITION OF *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.
GROWN IN THE GREENHOUSE AND UNDER FIELD
FERTILIZATION**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 03 de Maio de 2018.

Dr. Gilvano Ebling Brondani	UFLA
Dr. Renato Luiz Grisi Macedo	UFLA
Dr. Regis Pereira Venturin	EPAMIG
Dr. Leandro Carlos	IF Goiano

Prof. Dr. Nelson Venturin
Orientador

Profa. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2018**

Dedico

*Primeiramente a Deus,
principal responsável por tornar tudo possível e por ter me dado força, saúde e
perseverança para chegar ao final de mais uma etapa de minha vida.*

*À minha esposa Inês Sebastião Chelene, aos meus filhos, Faustino João
Munguambe e Kevin João Munguambe, pela alegria da convivência e por me
mostrar o sentido da vida.*

Aos meus familiares, pelo apoio ao longo da vida.

Dedico!!!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que é o maior Mestre que alguém pode conhecer e que tanto me ouviu em orações e quem me deu forças para que eu chegasse até aqui.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente, ao Departamento de Ciências Florestais (DCF), pela oportunidade.

À minha esposa Inês Sebastião Chelene, por me permitir sonhar, acreditar em mim, por toda confiança, amor, carinho e apoio em todos os momentos, mesmo de longe fisicamente; em especial, aos meus filhos Faustino João Munguambe, Kevin João Munguambe, ao meu pai Faustino Taela, à minha mãe Adelina Zefaniais, à minha irmã Laurinda Faustino Taela, a minhas cunhadas e sobrinhos.

Ao Professor Dr. Nelson Venturin, meu orientador e à professora Dra. Maria Lígia, minha coorientadora pelo profissionalismo, disponibilidade, amizade, confiança, bom-senso, paciência e pela valiosa orientação.

Agradecimento especial, também, a Anderson e Matias e aos demais estudantes envolvidos nas atividades do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, pela ajuda nas análises químicas foliares nesta etapa final.

Aos amigos, funcionários, técnicos do Laboratório de Silvicultura e do Viveiro Florestal, pela ajuda na execução dos experimentos. Especialmente Elias, Diana, Paloma, Vanessa, Samara, Bruna Sampaio, Bruna Crivilin, Rafael, Geisi, Erick, Jeannot (Congo), Rodolfo, Clarissa, Joelma, Michele, Leydy do (México), Oclízio, Chica, Juliano, Zé Pedro, Mateus, Roberto, Jorge e Rose.

A todos os Moçambicanos, em Lavras, o meu obrigado por todo tempo que compartilhamos juntos; nos momentos fáceis e difíceis, por estarmos longe de nossas famílias.

A Mateus José Comé e a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO GERAL

Objetivou-se avaliar a nutrição mineral em mudas de *Acrocarpus fraxinifolius* em ambiente controlado e o crescimento de mudas no campo sob doses de P e N. O experimento I foi avaliado sete tratamentos: um completo e seis com omissão de N, P, K, Ca, Mg e S. O delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. O experimento II foi avaliado sete tratamentos: um completo e seis com omissão de B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. O delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. O experimento III foi avaliado cinco tratamentos de doses de K (0, 50, 100, 150 e 200). O delineamento inteiramente casualizado sendo três relações de Ca:Mg (1:1, 3:1 e 1:3), quatro repetições. O experimento IV foi avaliado cinco tratamentos de doses de P (0, 20, 40, 80 e 160 g por cova⁻¹) e N (0, 25, 50, 100, e 200 g por cova⁻¹). O delineamento experimental de blocos casualizado com quatro repetições. Os resultados dos experimentos I, II, III e IV demonstram que a omissão do N, P, K e Ca limitaram o crescimento das plantas (H e DC) em relação ao tratamento completo e o acúmulo da MSPA, obedecendo a seguinte ordem: N > P > K. As omissões dos macronutrientes resultaram em alterações morfológicas, sendo que, N, P, K e Ca quando faltantes, causam os primeiros sintomas, seguido pelo Mg e S. O teor de nutrientes encontrado nas partes aéreas das plântulas foi maior nos tratamentos com a omissão de N, P e K do que nos tratamentos com a omissão de Mg e S. A omissão de Fe foi mais limitante no crescimento e acumulação de MSPA, seguida dos tratamentos com a omissão de Cu, B, Mn, Mo e Zn. Omissão de Fe desenvolveram clorose aguda e necrose foliar, seguida da morte. A deficiência de B, Mo e Zn aumentou o teor de Fe na parte aérea e redução do teor de Cu. O *Acrocarpus fraxinifolius* não se desenvolve bem em solos com a relação de Ca:Mg desbalanceada. O maior crescimento e produção MSPA, teor e acúmulo de Ca, Mg e K na parte aérea foram obtidos quando aplicada doses de K no solo entre 70 - 100 mg dm⁻³. Em solos pobres a relação Ca:Mg no solo deve estar próxima da relação 3:1. As plantas de *Acrocarpus fraxinifolius* responde a adubação nitrogenada e fosfatada. As melhores doses aplicadas para o P foi entre 90 a 100 g cova⁻¹ e para o N entre 70 a 120 g cova⁻¹.

Palavras-chave: Silvicultura. Nutrição Florestal. Fertilizantes.

GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the mineral nutrition in *Acrocarpus fraxinifolius* seedlings in a controlled environment and the growth of seedlings in the field under doses of P and N. The experiment I was evaluated seven treatments: one complete and six with omission of N, P, K, Ca, Mg and S. A completely randomized design with four replicates. Experiment II was evaluated seven treatments: one complete and six with omission of B, Cu, Fe, Mn, Mo and Zn. The interim randomized design with four replicates. The experiment III was evaluated five treatments of doses of K (0, 50, 100, 150 and 200). The completely randomized design being three ratios of Ca: Mg (1: 1, 3: 1 and 1: 3), four replicates. Experiment IV was evaluated in five treatment doses of P (0, 20, 40, 80 and 160 g per cova⁻¹) and N (0, 25, 50, 100, and 200 g per cova⁻¹). A randomized complete block design with four replicates. The results of experiments I, II, III and IV demonstrate that the omission of N, P, K and Ca limited the growth of plants (H and D) in relation to the complete treatment and the accumulation of SDW, in the following order: N> P> K. The omissions of macronutrients resulted in morphological changes, where N, P, K and Ca, when missing, cause the first symptoms, followed by Mg and S. The nutrient content found in the aerial parts of the seedlings was higher in treatments with the omission of N, P and K than in the treatments with the omission of Mg and S. The omission of Fe was more limiting in the growth and accumulation of SDW, followed by treatments with the omission of Cu, B, Mn, Mo and Zn. Omission of Fe developed acute chlorosis and foliar necrosis, followed by death. The deficiency of B, Mo and Zn increased the Fe content in the aerial part and reduction of the Cu content. *Acrocarpus fraxinifolius* does not develop well in soils with the unbalanced Ca:Mg ratio. The highest growth and SDW production, content and accumulation of Ca, Mg and K in the aerial part were obtained when applying doses of K in the soil between 70 - 100 mg dm⁻³. In poor soils the Ca: Mg ratio in the soil should be close to the 3: 1 ratio. The plants of *Acrocarpus fraxinifolius* respond to nitrogen and phosphate fertilization. The best doses applied for P were between 90 to 100 g of cova⁻¹ and for N between 70 to 120 g of cova⁻¹.

Keywords: Silviculture. Forestry Nutrition. Fertilizers.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	11
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
1.1 Objetivos gerais.....	12
1.2 Objetivos específicos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight & Arn.....	15
2.2 Nutrição mineral.....	15
2.3 Interações iônicas.....	17
2.4 Calagem no solo.....	18
REFERÊNCIAS.....	21
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS.....	23
ARTIGO 1 - EFFECT OF DEPRIVATION OF SELECTED SINGLE NUTRIENTS ON BIOMETRIC PARAMETERS OF CEDAR SEEDLINGS (<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>) GROWN IN NUTRITIVE SOLUTION.....	23
ARTIGO 2 - EFFECT OF DEPRIVATION OF SELECTED SINGLE MICRONUTRIENTS ON BIOMETRIC PARAMETERS OF CEDAR SEEDLINGS (<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>) GROWN IN NUTRITIVE SOLUTION.....	45
ARTIGO 3 - EFEITO DO CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight & Arn.....	71
ARTIGO 4 - ADUBAÇÃO DE <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> EM CAMPO.....	101

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

Para se obter um povoamento florestal que venha produzir matéria-prima com qualidade satisfatória, para o uso industrial, torna-se de extrema importância o conhecimento acerca das espécies a serem cultivadas. Os plantios comerciais são necessários, pois, quando bem conduzidos, elevam as chances de sucesso do empreendimento florestal, bem como promovem um alívio na pressão sobre florestas nativas quanto ao desmatamento. Um passo inicial, para que se consiga dominar a produção de espécies florestais, é conhecer suas necessidades nutricionais, como também os seus níveis de adaptação, em solos com diferentes características de fertilidade, além da utilização precisa de técnicas silviculturais e de manejo.

O *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn pertence à família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae, é popularmente conhecido como cedro indiano, guijarra, lazcar ou mundane. Ocorre mais especificamente em florestas perenifólias da Índia, Bangladesh, Indonésia, Nepal e Myanmar (MARTÍNEZ et al., 2006; PRADO et al., 2003). Produz madeira dura, de cerne avermelhado, utilizada em construção, mobiliário e produção de celulose (FIRMINO; MORAES; FURTADO, 2015). Apresenta rápido crescimento, árvore adulta é reta e atinge, em média, 15 a 20 m de altura e 30 a 50 cm de diâmetro, aparentemente, não possui nódulo fixador de nitrogênio e não é resistente à geadas (HIGA; PRADO, 1998); é muito promissora para reflorestamentos e utilizada para a produção de madeira de curta rotação (TRIANOSKI et al., 2011). Em função de sua semelhança física com freixo e noqueira, é usada como substituta dessas espécies, na construção de casas e na manufatura de mobília e

embalagens. Na África, é utilizada como sombreamento nas plantações de café (ROCAS, 2010).

A fase de produção de mudas torna-se de grande importância para o estabelecimento dos plantios florestais; o conhecimento sobre exigências nutricionais e o uso do substrato apropriado são fatores essenciais (CAIONE; LANGE; SCHONINGER, 2012). O estabelecimento de plantios florestais, seja para fins comerciais ou restauração, depende de uma série de fatores, sendo a qualidade das mudas fundamental para o sucesso inicial (SIMÕES et al., 2015).

Sob a ótica do manejo florestal, um dos principais pontos a serem considerados é a distância entre as plantas, que determina o espaço entre elas, para que haja uma maximização, no aproveitamento dos recursos disponíveis, para cada árvore. Esse aproveitamento é determinante para que as árvores se desenvolvam em sua plenitude. Botelho (1998) afirma que existem alguns fatores determinantes, na escolha do espaçamento de plantio, como qualidade de sítio, espécies, objetivos de manejo, condições de mercado e métodos de colheita. E que os efeitos dos espaçamentos afetam o número de tratos culturais, a taxa de mortalidade e de dominância, o volume de madeira, a idade de estagnação, a qualidade da madeira.

Conhecer as épocas em que os elementos são mais exigidos e saber quais são os sintomas de deficiências de determinado nutriente mineral são, sem dúvida, auxílio importante para corrigir deficiências nutricionais com adubação quantitativa e qualitativamente correta.

1.1 Objetivos gerais

Avaliar o crescimento e o efeito nutricional em mudas de *A. fraxinifolius* em ambiente controlado no campo.

1.2 Objetivos específicos

Avaliar os parâmetros biométricos das mudas de cedro (*A. fraxinifolius*) associadas à sintomatologia visual da deficiência de macronutrientes, taxa de crescimento e conteúdo e acumulação de nutrientes em partes aéreas de mudas cultivadas em solução nutritiva.

Avaliar os parâmetros biométricos das mudas de *Acrocarpus fraxinifolius* associadas à sintomatologia visual da deficiência de micronutrientes, taxa de crescimento e conteúdo e acumulação de nutrientes em partes aéreas de mudas cultivadas em solução nutritiva.

Avaliar o efeito das combinações de doses de Ca, Mg e K, no crescimento, no teor foliar e acúmulo de nutrientes, bem como a influência dessa interação na relação Ca, Mg e K, em plantas *Acrocarpus fraxinifolius*.

Avaliar o crescimento inicial em campo de *Acrocarpus fraxinifolius* sob diferentes doses de P e N.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn

O *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn pertence à família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae, é popularmente conhecido como cedro indiano, guijarra, lazcar ou mundane (MARTÍNEZ et al., 2006), produz madeira dura, de cerne avermelhado, utilizada em construção, mobiliário e produção de celulose (FIRMINO; MORAES; FURTADO, 2015). Nativo das regiões de alta pluviosidade da Ásia, o cedro indiano apresenta rápido crescimento, sendo muito promissor para reflorestamentos e utilizado para a produção de madeira de curta rotação (TRIANOSKI et al., 2011). Em função da sua semelhança física com freixo e nogueira, é usado como substituto dessas espécies na construção de casas e na manufatura de mobília e embalagens. Na África, é utilizado como sombreamento nas plantações de café (ROCAS, 2010). É uma madeira de fácil processamento e colagem, com a qual se obtêm superfícies com bom acabamento superficial (HONORATO et al., 2005). Ocorre mais especificamente em florestas perenifólias da Índia, Bangladesh, Indonésia, Nepal e Myanmar (antiga Birmânia) (PRADO et al., 2003). A árvore adulta é reta e atinge, em média, 15 a 20 m de altura e 30 a 50 cm de diâmetro, aparentemente não possui nódulos fixadores de nitrogênio e não é resistente à geada (HIGA; PRADO, 1998).

2.2 Nutrição mineral

Para estabelecer a essencialidade dos elementos minerais para os vegetais e seus papéis no metabolismo, foram feitos experimentos com plantas superiores crescendo em solo e em soluções nutritivas (MARSCHNER, 2012).

A solução nutritiva é uma técnica de qualquer cultivo sem solo (substrato, areia lavada, hidroponia). Ela substitui uma das funções mais nobres do solo: a de fornecer nutrientes às plantas. O cultivo sem solo não é uma técnica recente; os registros de sua utilização datam de milhares de anos, como os cultivos sobre tábuas flutuantes praticados pelos astecas, os jardins suspensos da Babilônia e os registros em hieróglifos dos experimentos de Teophrastus sobre nutrição de plantas (SORREANO; RODRIGUES; BOARETTO, 2012).

O histórico da nutrição mineral de plantas e o cultivo em solução nutritiva foram detalhadamente relatados por Epstein e Bloom (2006). Sorreano, Rodrigues e Boaretto (2012) destacam os principais acontecimentos, como os primeiros experimentos quantitativos em nutrição de plantas que foram desenvolvidos por J. B. Helmont (1580-1644), todavia, somente em 1699, John Woodward (1665-1728) realizou os primeiros cultivos de plantas, em meio líquido, sem uso de substratos sólidos. Em 1804, Saussure (1767-1845), influenciado pela nova química de Lavoisier (1743-1794), realizou as primeiras tentativas do cultivo de plantas, em solução nutritiva, estabelecendo a necessidade do uso de nitrato e outras fontes de nutrientes ao meio.

Segundo Sorreano, Rodrigues e Boaretto (2012), as soluções nutritivas fornecem os nutrientes ao desenvolvimento das plantas, porém não existe uma que seja adequada para todas as espécies vegetais. Para cada espécie e condição de cultivo, existe uma solução nutritiva mais adequada, dependendo da exigência nutricional. Essa exigência refere-se às quantidades de nutrientes que uma cultura extrai da solução nutritiva, para atender às suas necessidades, crescer e produzir adequadamente.

De modo geral, as exigências totais obedecem à seguinte ordem decrescente (MALAVOLTA, 2006):

Macronutrientes: $N > K > Ca > P = Mg = S$

Micronutrientes: $Fe > Mn > B > Cu > Zn > Mo$

A falta dos elementos essenciais, resultado do desenvolvimento lento da planta, ocasiona, dessa forma, o aparecimento de sintomas como caules finos e, muitas vezes, rachados, folhas eretas com crescimento desuniforme e menores pelo menor número de células, senescência precoce e redução no perfilhamento (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Determinadas situações podem indicar a possibilidade do aparecimento de sintomas de deficiência nutricional, como baixo teor de nutrientes revelados pela análise do solo e do tecido foliar na planta.

2.3 Interações iônicas

Os nutrientes, presentes no solo, disponíveis à absorção pelas plantas, podem ser afetados por interações físicas, químicas e biológicas, entre as quais eles sofrem interações iônicas, ou seja, como esses nutrientes são elementos químicos, eles reagem entre si.

Os efeitos interativos são classificados em três tipos: antagonismo, inibição e sinergismo (SILVA; TREVIZAM, 2015).

O **antagonismo** ocorre quando um nutriente diminui a absorção de outro. Por exemplo, esta interação pode evitar problemas de toxidez, em que Cálcio (Ca) impede a absorção exagerada de Cobre (Cu).

A interação, também, pode ser de **inibição**, competitiva ou não competitiva. Na **inibição competitiva** os nutrientes disputam o mesmo canal de absorção, diminuindo a absorção dos que estiverem em menor concentração na solução do solo, geralmente, ocorrendo com íons de valência semelhantes (Ca^{2+} e Mg^{2+} ; Fe^{2+} e Mn^{2+} , K^+ e Na^+).

Na **inibição não competitiva** os nutrientes não disputam o mesmo canal de absorção, porém a presença de um determinado nutriente diminui a absorção

de outro. Um exemplo disso é, quando o excesso de K^+ e Ca^{2+} na solução do solo, induzem a deficiência de Mg^{2+} .

Já o **sinergismo** ocorre, quando um nutriente aumenta a absorção de outro, por exemplo, o Ca^{2+} em maiores concentrações aumenta a absorção de vários cátions e ânions presentes no solo.

A interação do nutriente potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+}) é a mais conhecida. Observa-se que o aumento do teor de K^+ , na solução do solo, causa diminuição dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas plantas, podendo ser causado pelo efeito de diluição e verifica-se, também, que aumento na dosagem de K^+ e Ca^{2+} induzem a deficiência de Mg^{2+} nas plantas. O K^+ , por ser um nutriente de menor carga, atravessa a membrana plasmática rapidamente diminuindo a absorção dos outros cátions. A interação que ocorre entre Ca^{2+} e Mg^{2+} é antagonica e o excesso de um prejudica a absorção de outro (PRADO, 2008).

2.4 Calagem no solo

Conforme Raij (2011), a condição desfavorável de reação do solo mais comum nos solos brasileiros é a acidez excessiva. Assim, a correção da acidez dos solos pela calagem é um dos melhores investimentos a serem feitos, em condições nas quais as culturas respondem a esta prática.

Uma calagem, realizada de maneira adequada, irá neutralizar o alumínio do solo e fornecer Ca e Mg como nutrientes. Além disso, promove o aumento da disponibilidade do P e de outros nutrientes no solo, assim como a capacidade de troca de cátions efetiva e a atividade microbiana, entre outros benefícios. A calagem possibilita, então, maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, facilitando ainda mais a absorção e a utilização dos nutrientes e da água pelas culturas (SOUZA; LOBATO, 2004).

Rocha et al. (2008) estudaram os efeitos de doses de calcário dolomítico incorporado ao solo da cova de plantio, nas propriedades do solo, no crescimento inicial e estado nutricional das plantas de um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico, textura argilosa, com acidez elevada e rico em matéria orgânica em profundidade. Concluíram que a calagem é recomendada, para a cultura do eucalipto em Latossolo húmico, na concentração de 300 g cova⁻¹, que resulta no equivalente a 64% de saturação por bases no solo.

Venturin et al. (2000) estudaram o efeito da relação Ca: Mg do corretivo no desenvolvimento e nutrição mineral de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.), observaram que os tratamentos influenciaram o crescimento e teores foliares de nutrientes das mudas. As melhores respostas obtidas, em altura de plantas e diâmetro do caule, foram dos tratamentos CaCO₃ + Mg solúvel, seguidos das relações 2:1, 1:1 e 8:1, exceto este último para diâmetro do caule.

Bernardino et al. (2007), em trabalho realizado com o jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra*), observaram resultados negativos de variáveis de crescimento, em resposta à elevação da saturação por bases, pois, para a espécie, nenhuma característica avaliada (altura e diâmetro do colo) apresentou influência significativa.

REFERÊNCIAS

- BERNARDINO, D. C. S. et al. Influência da Saturação por bases e da relação Ca: Mg do substrato sobre o crescimento inicial de jacarandá da Bahia (*Dalbergia nigra*) Vell. FR. All. Ex Benth). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 567-573, 2007.
- BOTELHO, S. A. Espaçamento. In: SCOLFORO, J. R. S. (Ed.). **Manejo florestal**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE, 1998. p. 381-405.
- CAIONE, G.; LANGE, A.; SCHONINGER, E. L. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, p. 213-221, 2012.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Ed. Planta, 2006.
- FIRMINO, A. C.; MORAES, W. B.; FURTADO, E. L. Primeiro relato de *Ceratocystis fimbriata* causando seca em *Acrocarpus fraxinifolius* no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 41, n. 2, p. 160, 2015.
- HIGA, A. R.; PRADO, C. de A. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. Colombo: EMBRAPA Florestas, 1998.
- HONORATO, S. J. A. et al. **Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*) una opción agroforestal para la sierra Norte del estado de Puebla**. Ciudad de México: INIFAP, 2005. 41 p. (Folleto Técnico, 1).
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London: Academic, 2012. 889 p.

MARTÍNEZ, P. E. et al. Pink Cedar (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight) intercropping system and its effect on soil organic matter content. **Revista UDO Agrícola**, Rioja, v. 6, p. 109-113, 2006.

PRADO, C. A. et al. Características físicas e químicas da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Brasília, DF, n. 14, p. 1-14, 2003.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Ed. UNESP, 2008. 407 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

ROCAS, A. N. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. Disponível em: <<http://www.rngr.net/publications>>. Acesso em: 6 ago. 2010.

ROCHA, J. B. O. et al. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 255-263, dez. 2008.

SILVA, M. L. S.; TRAVIZAM, A. R. Interação iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 149, p. 10-16, mar. 2015.

SIMÕES, P. H. O. et al. Crescimento e qualidade de mudas de Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.- *Lecythidaceae*) em substratos fertilizados com macronutrientes. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 689-703, 2015.

SORREANO, M. C. M.; RODRIGUES, R. R.; BOARETTO, A. E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.

TRIANOSKI, R. et al. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus spp.* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 343-350, set. 2011.

VENTURIN, R. P. et al. Efeito da relação Ca: Mg do corretivo no desenvolvimento e nutrição mineral de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* fr. all.). **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 30-39, 2000.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**ARTIGO 1 - EFFECT OF DEPRIVATION OF SELECTED SINGLE
NUTRIENTS ON BIOMETRIC PARAMETERS OF CEDAR
SEEDLINGS (*Acrocarpus fraxinifolius*) GROWN IN NUTRITIVE
SOLUTION**

Artigo formatado de acordo com as Normas da Revista *African Journal of
Agricultural Research*

****prepared for African Journal of Agricultural Research**

Versão original, como submetida.

***original submitted version

Vol. 12(39), pp. 2886-2894, 28 September, 2017

DOI: 10.5897/AJAR2017.12384

Article Number: F6F577566129

ISSN 1991-637X

Copyright ©2017

Author(s) retain the copyright of this article

<http://www.academicjournals.org/AJAR>

**Effect of deprivation of selected single nutrients on biometric parameters of
cedar seedlings (*Acrocarpus fraxinifolius*) grown in nutritive solution**

João Faustino Munguambe¹; Nelson Venturin^{1*}; Maria Ligia de Souza Silva¹;
Leandro Carlos²; Diana Suzete Nunes da Silva¹; Elias de Sá Farias¹; Lucas
Amaral de Melo¹; Renato Luiz Grisi Macedo¹ and Mateus José Comé³

¹ Federal University of Lavras, State of Minas Gerais, Brazil.

² Goiano Federal Institute - Rio Verde, State of Goiás, Brazil

³ Cashew Promotion Institute (INCAJU), Mozambique

* Corresponding author. E-mail: venturin@dcf.ufla.br

ABSTRACT

The purpose of this work was to assess biometric parameters of cedar seedlings (*A. fraxinifolius*) associated with visual symptomatology of macronutrients deficiency, growth rate, and content and accumulation of nutrients in aerial parts of seedlings grown in nutritive solution. The trial was established in Completely Randomized Design with seven treatments, four replications, and one plant per pot. Treatments consisted of complete nutrient solution Hoagland and Arnon, and deprivation of the following selected single nutrients: N, P, K, Ca, Mg and S. Micronutrients were provided to all treatments. The following biometric parameters were assessed 90 days after the transplant: shoot height, root collar diameter, root and shoot dry weight. The Dickson index and the ratio given by roots dry weight and shoot dry weight were obtained, as well as the content and accumulation of nutrients in aerial parts of seedlings. The Sisvar statistical analysis system was run for Analysis of Variance, and averages were compared by means of Scott-Knott test at 5% significance. Treatments consisting of omissions of macronutrients were found to be limiting factors of plants growth and obtaining of seedlings shoot dry weight in the following order: N > P > K > Ca > Mg > S. Deficiencies of these macronutrients caused visible morphological abnormalities, where common symptoms of deficiency of N, P, K and Ca appeared before symptoms of deficiency of Mg and S. The content of nutrients found in aerial parts of seedlings of *A. fraxinifolius* grown in nutritive solution was greater for treatments consisting of deprivation of N, P and K. The content of nutrients found for treatments consisting of deprivation of Mg and S was not significantly different to that found for the complete nutrients solution.

Keywords: nutritional requirements, forest nutrition, Indian cedar.

INTRODUCTION

The increased demand for forest products has been leading to constant search for novel silvicultural techniques to increase the productivity of forest plantations worldwide. Although Brazil has the largest area of natural tropical forest in the world, there is a successful experience in introducing species from other countries, such as species of the genera *Eucalyptus* and *Pinus*. In addition, a new specie, *Acrocarpus fraxinifolius*, has recently aroused the interest of Brazilian researchers for its rapid growth (Gonçalves *et al.*, 2012).

Acrocarpus fraxinifolius is a large deciduous emergent tree native in the family Fabaceae, subfamily Caesalpinioideae. This has been used as shade trees in the coffee plantations in India, as well as for wood production and/or forest enrichment. Besides, this specie is found to be the best-suited tree for plantations in badly degraded areas which are not protected from cattle grazing (Gonçalves *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2006).

A review is provided of the current state of understanding of *A. fraxinifolius*, focusing on silvicultural aspects, plantations management and utilization of the specie (Mishra *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2006). However, there is no sufficient information regarding the nutritional requirements of the species so far, which can compromise the success of projects of reforestation and recomposition of native areas (Sorreano *et al.*, 2012; Aquino *et al.*, 2013). Thus, considering that fertilization practices are fundamental for the production process of high quality seedlings, and to enable forest plantations to reach adequate growth stages on field (Gonçalves *et al.*, 2012; Mishra *et al.*, 2015), a study about fertilizing of potentially producing species is found necessary.

Nutritional requirements refer to amounts of macronutrients and micronutrients that a given crop takes from soil, fertilizer and air, to attend its requirements, to grow up and produce adequately. The amount of nutrients required is described as function of the existing contents in the plant material, as well as from the total dry matter (Faquin, 1994). Regarding forest species, studies have demonstrated that fertilizing of such species increase productivity, quality and establishment of forest plantations over time (Braga, 1995).

One of ways used to assess nutritional requirements of plant species is by means of the Minus One Element Technique, which determines soil nutrient deficiencies in actual field or greenhouse conditions, based on the law of minimum. This technique consists of testing a complete nutrient treatment along

with treatments based on individual omissions of other crop nutrients (Silva *et al.*, 2016) and provides semiquantitative nutrients-related data that may limit plants development (Malavolta, 1980; Vieira *et al.*, 2008; Locatelli *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2005; Matheus *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2011; Andrade and Boaretto, 2012).

The rationalization of plants nutrition management in the seedlings production process may increase the knowledge on interactions between nutrients in higher plants, thus contributing to the productivity of forest plantations (Martínez *et al.*, 2006). When one nutrient is missing or deficient for example, such deficiency causes anomalies due to changes made to the plant metabolism (Epstein and Bloom, 2006). The purpose of this study was to assess the effect of deprivation of selected single nutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) on biometric parameters of cedar seedlings (*Acrocarpus fraxinifolius*) grown in nutritive solution.

MATERIAL AND METHODS

The trial was conducted in a greenhouse in the Forest Nursery of the Federal University of Lavras (UFLA) located in Lavras, State of Minas Gerais, Brazil, at 21°14' South, 44°00' West and 919 meters elevation. Seeds of *Acrocarpus fraxinifolius* were collected from mother trees at the Historical Campus of UFLA, cleaned and scarified in the Laboratory of Silviculture of the Department of Forest Sciences, as outlined in Venturin *et al.* (2014). Then, seeds were sown in 55 cm³ tubes containing vermiculite substrate, and wet using deionized water.

After reaching 5 to 10 cm height, about 30 days after sowing, seedlings were washed with deionized water in bare root and transplanted to a plastic tray containing 20 liters of complete nutrient solution Hoagland and Arnon (1950). The nutrient solution was maintained under constant aeration with compressed air to maintain the air flow and oxygenate the hydroponic nutrient solution. This solution was at 30 and 60% of its ionic force and seedlings were kept for 15 days

in each solution as outlined in Marques *et al.* (2004). After these days, which are described here as the adaptation period, each seedling was transplanted in a 5 liters pot and put on a stand under constant aeration. The pH rose to about 5.5 and very little precipitation occurred. Seedlings were then fixed by means of the stem with the help of polystyrene sheets about 2 cm thick (Silva *et al.*, 2016).

The trial was established in Completely Randomized Design with seven treatments, four replications, and one plant per pot. Treatments consisted of complete nutrient solution Hoagland and Arnon, and omissions of selected single nutrients, namely N, P, K, Ca, Mg and S, based on the law of minimum. Micronutrients were provided to all treatments under study.

Analytical reagent and deionized water were used to prepare nutrient stock solutions. The nutrient solution was changed biweekly, since it was used for a fast-growing forest specie, and because is characterized by high concentration of nutrients (Epstein & Bloom, 2006). Plants were daily monitored and the solution volume was completed using deionized water whenever it was necessary. Seedlings were constantly monitored to diagnose nutrient deficiency symptoms under test and the first common symptoms of each nutrient were, in general, observed on seedlings about 45 days after the transplant, except symptoms of deficiency of N that appeared 20 days earlier.

About 90 days after the transplant, shoot height (H) and root collar diameter (D) were measured. After these assessments, plants were harvested, separated into shoots and roots, and washed in running water and deionized water. Then, plants were dried in a forced air heating system (hothouse) at 65°C temperature (Sorreano *et al.*, 2011). Thus, the plant material was weighted on a 0.0005 g precision scale to estimate the following biometric parameters: shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), and total dry matter (TDM). The ratio given by RDW and SDW was obtained, as well as the Dickson quality index (DQI) given

by the following equation: $DQI = TDM_{(g)} / [(H_{(cm)} / D_{(mm)}) + (SDW_{(g)} / RDW_{(g)})]$ (Dickson *et al.*, 1960).

The shoot dry matter was ground in a Wiley-type laboratory mill and then subjected to sulphuric and nitric-perchloric digestion for the estimation of the content of macronutrients as outlined in Malavolta *et al.* (1997). The accumulation of nutrients was obtained by multiplying the content of dry matter by the content of each nutrient found in the matter and, then, divided by 1.000, either for macronutrients (g) or micronutrients (mg). Restrictive effects of treatments consisting of individual omissions of N, P, K, Ca, Mg and S were obtained by comparing the effect of each of these treatments with the effect of the complete nutrient solution.

The Sisvar Statistical Analysis System (Ferreira, 2011) was used for statistical analysis and the Analysis of Variance was carried out to determine the significance of differences of means of biometric parameters such as H, D, SDW, RDW, TDM, $RDW \div SDW$, and DQI. Averages were then compared by means of Scott-Knott test at 5% significance.

RESULTS AND DISCUSSION

Growth of seedlings

Treatments consisting of omissions of selected single macronutrients, namely N, P, K, Ca, Mg and S were found to be the most limiting for all morphological parameters under study in the following order: $N > P > K > Ca > Mg > S$. In addition, statistically significant differences between treatments were found for all variables under study (Table 1).

The treatment consisting of omission of N showed the major restrictive effect on the seedlings growth. When the N was missing, biometric parameters reduced significantly when compared to the complete nutrient solution as follows: plants

height (81.1%), root collar diameter (76.6%), shoot dry weight (98.3%), root dry weight (78.7%), total dry matter (95.6%), ratio given by shoot dry weight divided by root dry weight (91.6%), and Dickson quality index (89.4%) (Table 1). According to Souza and Fernandes (2006), this finding was expected because this nutrient is commonly required in greater amounts and is found to be the most limiting factor for crops growth. Besides, when the N is missing, the synthesis of proteins and nucleic acids is compromised, causing a reduced plants growth (Marschner, 2012). For example, studies have reported that deficiency of N causes a significant reduction of shoot and root dry weight in many crops (Silva *et al.*, 2016; Moretti *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2011; Camacho *et al.*, 2014; Corcioli *et al.*, 2014).

In the same context, the treatment consisting of omission of P affected significantly the plants height (63.8%), root collar diameter (73.5%), shoot dry weight (93.2%), root dry weight (81.28%), total dry matter (91.6%), ratio given by shoot dry weight divided by root dry weight (61.6%), and Dickson quality index (89.8%) (Table 1). In general, the deficiency of P limits the plant growth because this macronutrient is found as part of key-molecules of cell metabolism such as ATP and nucleic acids (George *et al.*, 1995). In this study, seedlings grown under deficiency of P showed a reduction in plant size, leaves and root weight, and long roots and few lateral roots. The P plays an important role in the synthesis of energy, so that its deficiency may be reflected in reduced plant growth (Taiz and Zaiger, 1998). Similar results were also found in many other studies (Benedetti *et al.*, 2009; Moretti *et al.*, 2011; Vieira *et al.*, 2016).

Regarding the deficiency of K, a significant reduction was found for the following parameters: plants height (44.9%), root collar diameter (60.4%), shoot dry weight (78.7%), root dry weight (79.6%), total dry matter (78.8%), and Dickson quality index (82.5%) (Table 1). These findings were expected since K

is commonly required by plants in greater amounts (Niu *et al.*, 2013). In addition, this nutrient is associated with osmoregulation processes, cell extension, opening and closing of stomata, activation of enzymes and synthesis of proteins (Marschner, 2012; Pettigrew, 2008). Reduction in terms of root biomass was also found in many other studies performed with different crops under deficiency of K (Silva *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2012; Camacho *et al.*, 2014; Carlos *et al.*, 2014).

The treatment consisting of omission of Ca showed a significant restrictive effect on the plants height (41.4%), root collar diameter (54.1%), shoot dry weight (86.7%), root dry weight (87.8%), total dry matter (86.9%), and Dickson quality index (88.7%) (Table 1). Ca is also an essential macronutrient (Funk *et al.*, 2013) found in association with the stabilization of the cell wall (White and Broadley, 2003). Plants growing under deficiency of Ca show a reduced number of leaves, early fall of folioles, and dying of the apical bud. Besides, roots may show less development, few lateral roots, and dark coloring. The deficiency of Ca occurs commonly in the growing points of shoots and roots due to its low translocation into plants. However, regions of greater cell expansion are the most affected by the deficiency of this macronutrient (Marschner, 2012). In the same context, Mendonça *et al.* (1999) found that deficiencies of Ca and P drastically limited the growth of seedlings of *Myracrodruon urundeuva*.

Treatments with deficiency of selected single macronutrients Mg and S promoted greater growth of seedlings, and increased the production of shoots biomass. This finding suggests that, based on the law of minimum, these macronutrients are not limiting for the growth of cedar seedlings (*A. fraxinifolius*), because the level of plant production was still greater than that allowed for limiting factors.

Symptoms of deficiency of macronutrients

Seedlings grown in nutritive solution, with a nutrient missing, showed visual symptoms of deficiency in different moments (Figure 1). However, the first common symptoms of each macronutrient were observed about 45 days after the transplant, except symptoms of deficiency of N that appeared 25 after the transplant. Then, seedlings were kept in the greenhouse for additional 45 days after the transplant for symptoms assessment and further tests.

Nitrogen (N): The chlorosis appeared firstly on mature leaves about 25 days after the transplant (Figure 1A). Young leaves appeared already chlorotic, with size drastically reduced. After 90 days, there was a generalized chlorosis in the leaf blade, characteristic of deficiency of N, as well as in all leaves. Similar symptoms were described by Silveira *et al.* (2002), on hybrids of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*.

There was an interruption in the appearing of buds over time, as well as a great investment of plants toward the root system. According to Mengel and Kirkby (1987), visible symptoms associated with deficiency of N appear as consequence of metabolic disorders, because N is found in the majority of organic compounds, including amino acids and nucleic acids.

Phosphorous (P): Deficiency of P resulted in the shorter and narrow leaf blade. The inhibition of axillary buds caused a reducing growth and branching, resulting in smaller plants (Figure 1B). The leaf blade showed a dark green coloring at first and, then, chlorotic, and withered folioles. Symptoms of deficiency of P occur because this macronutrient plays an important role in the metabolism of the energy of plants such as photosynthesis and respiration (Furlani, 2004). Thus, the growth of plants under deficiency of P is retarded (Mengel and Kirkby, 1987). Similar findings were described by Sorreano *et al.*

(2012) for seedlings of *Astronium graveolens* Jacq. and *Enterolobium contortisiliquum* (Vell).

Potassium (K): The deficiency of K was characterized by chlorosis on leaves edges, which developed to necrosis of the whole leaf blade (Figure 1C). The size of seedlings was reduced, either for shoots or root system, and the apical dominance was lost. The pronounced necrosis of the leaf blade occurred as result of accumulation of chemical compounds coming from metabolic disorders such as accumulation of soluble or free nitrogen compounds. These compounds can be amino acids, amides, ammonia, amines, products that result from the decarboxylation of amino acids such as putrescine and agmatine (Malavolta & Crocorno, 1982; Epstein & Bloom, 2006). The chlorosis on mature leaves followed by the reduction of apical dominance in seedlings of *Croton urucurana* Baill was also found by Sorreano *et al.* (2011).

Calcium (Ca): Plants grown under deficiency of Ca showed chlorosis on edges and tips of folioles of younger leaves (Figure 1D). Severe symptoms were described 45 days after the transplant, and developed from chlorosis to necrosis on edges of folioles, resulting in deformation, withering and, then, abscission of leaves. About 120 days after the transplant, the apical bud of the majority of seedlings died, compromising the plant growth, and resulting in smaller plants. The appearing of symptoms on edges of younger leaves and other new tissues was due to the lack of this macronutrient in plant tissues (Malavolta, 2006). A similar growth pattern was described by Silveira, *et al.* (2002) for hybrids of eucalyptus. On the other hand, the deficiency of Ca resulted in the interruption of the production process of new roots, and rottenness of secondary roots, as was also described by Barroso *et al.* (2005) for seedlings of *Tectona grandis* and by Muniz & Silva (1995) for seedlings of *Aspidosperma polyneuron*.

Magnesium (Mg): The deficiency of Mg for seedlings of *A. fraxinifolius* resulted in chlorosis in spaces between nervures of folioles of older leaves (Figure 1E). The size and number of folioles per leaf were reduced in relation to plants of the treatment consisting of the complete nutrient solution. According to Taiz and Zeiger (2013), Mg is one of the main enzymatic activators in the photosynthesis and synthesis of DNA and RNA, and is part of the structure of the molecule of chlorophyll. Thus, its deficiency promotes necrosis at the leaves apex and chloroplasts; and deformation of structures of lamellas affecting the stability of thylakoids. Symptoms of deficiency of Mg were also described by Mendonça *et al.* (1999) for seedlings of *Myracrodruon urundeuva*.

Sulphur (S): Symptoms of deficiency of S were the last to appear. At first, small whitish spots appeared on leaf blades (Figure 1F). Then, these spots became chlorotic and covered almost all young and old leaves. Deficiency of S resulted in small sized leaves, with edges and tips of folioles rolled up; however, the plant size did not reduce. Similar results were found by Wallau *et al.* (2008) for seedlings of *Swietenia macrophylla*, and Sarcinelli *et al.* (2004) for seedlings of *Acacia holosericea* grown in nutritive solutions.

Concentration of macronutrients

The external concentration of ions is one of factors that affect the absorption of ions by living roots (Marschner, 2012). In this study, by limiting a given nutrient in the solution, the content of such nutrient into plant tissues reduced (Table 2 and Table 3).

Contents of P, K, Ca and Mg increased in the treatment consisting of omission of N for shoots of seedlings of *A. fraxinifolius* when compared to the complete nutrient solution (Table 2). The greatest content of P occurred probably as effect of the concentration of P absorbed to the lesser dry weight produced by plants. High concentrations may be related to the reduced growth that promoted the

effect of N found in the dry weight. Therefore, data suggest that N is a significantly limiting factor for the growth of seedlings of *A. fraxinifolius*.

Treatment with omission of P resulted in the minor content of nutrients found in the shoots, probably because of the lower plants growth that reduced production of dry matter, with effect in the accumulation of P (Table 2). In addition, this lesser accumulation may be associated with the fact that phosphorus is a major nutrient, meaning that it is frequently deficient for crop production and it is found in every living plant cell involved in several key plant functions, including energetic metabolism.

The omission of K increased the content of P and S in the shoot when compared to the complete nutrient solution (Table 2). A significant content of S was found in this treatment. Besides, although N and P are potential limiting factors for seedlings of *A. fraxinifolius*, for example, the content of S found in treatments formulated with N and P missing was lesser than that found in the treatment formulated with potassium missing.

The treatment formulated with Ca missing resulted in significant contents of all nutrients under study in shoots when compared to the complete nutrient solution (Table 2). In addition, there was an accumulation effect of Ca due to the low biomass production recorded in this treatment. In the same context, similar results were found in many other studies (Mendonça *et al.*, 1999; Marques *et al.*, 2004; Barroso *et al.*, 2005). Thus, the existing interaction effect between Ca, Mg and K was also found in this study. The increase of the content of Ca and Mg in the shoot is, according to Malavolta (1980) Marschner (1995) and Barroso *et al.* (2005), related to the deficiency of K, then, favoring the absorption of Ca and Mg by plants, and vice versa.

The treatment formulated with Mg missing reduced the content of Ca in shoots of seedlings of *A. fraxinifolius* when compared to the complete nutrient solution

(Table 2). The reduced content of Ca in this treatment is described as result of the existing antagonism between these two nutrients (Mg and Ca), i.e., Mg has a damaging effect on the Ca availability for plants uptake, and excessive amounts of Ca reduces the uptake of cationic macronutrients such as Mg (Epstein, 1975; Malavolta *et al.*, 1997; Mendonça *et al.*, 1999; Barroso *et al.*, 2005).

In the treatment formulated with S missing, a reduction in the concentration of Ca in shoots when compared to the complete nutrient solution was found (Table 2). However, this treatment was characterized by the increase of biomass in the shoot, which was described as result of the dilution effect, from which, the reduction of the content of Ca did not affect the plant growth and accumulation of dry biomass.

Regarding the accumulation of nutrients in the shoot of seedlings of *A. fraxinifolius* (Table 3), a pattern similar to that described for dry mass obtained from shoots of the same seedlings was found (Table 2). However, treatments consisting of the complete nutrient solution, minus S and minus Mg provided a greater accumulation of nutrients for the majority of nutrients under study. In addition, by limiting a given nutrient in the solution, in general, the content of such nutrient into plant tissues reduced (Table 3).

The treatment formulated with N missing showed lesser accumulation of nutrients in the shoot of seedlings of *A. fraxinifolius* when compared to the complete nutrient solution (Table 3), probably due to the low-growing effect recorded in the trial. This result shows that the content of this macronutrient in the sample was highly affected by the amount of dry weight obtained per treatment. The accumulation of nutrients depends on the content of dry weight, thus, the accumulation of N in the shoot showed a direct proportionality with the total dry matter produced per plant.

Table 3 shows that the content of nutrients found in the treatment formulated with P missing was relatively low, especially when compared to the complete nutrient solution. This treatment (minus P) resulted in lower accumulation of nutrients in shoots of seedlings of *A. fraxinifolius*, this described by the low-growing effect and a pronounced reduction in the total dry matter produced per plant.

Therefore, as these macronutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) are found to be essential elements for plant growth, there is a pre-determined ratio of them that is required by the plant system, depending on its life cycle, environment and its genotypic characteristics. Amounts found in this study show that the ratio of these macronutrients is more critical than the actual concentration of the individual elements, and macronutrients balancing is an important indicator of a synergistic and/or antagonistic relationships between them; which determines the effective uptake and utilization of a given macronutrient by plants.

CONCLUSIONS

Formulated treatments with deficiency of selected single nutrients N, P, K and Ca limited plants growth (shoot height and root collar diameter) and accumulation of shoot dry weight of cedar seedlings (*A. fraxinifolius*) in the following order: N > P > K > Ca > Mg > S. The deficiency of these macronutrients caused visible morphological abnormalities. However, common symptoms of deficiency of N, P, K and Ca appeared before symptoms of deficiency of Mg and S. The content of nutrients found in aerial parts of seedlings of *A. fraxinifolius* grown in nutritive solution was greater in treatments consisting of deprivation of N, P and K than in treatments consisting of deprivation of Mg and S. There was no statistically significant difference between treatments consisting of deprivation of Mg and S and the complete nutrients solution.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors have not declared any conflict of interests.

REFERENCES

- Andrade MLF, Boaretto AE (2012). Deficiência nutricional em plantas jovens de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Scientia Forestalis*. 40(95): 383-392. <http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/43088>
- Aquino LA de, Silva FDB da, Berger PG (2013). Características agronômicas e o estado nutricional de cultivares de girassol irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 17: 551-557. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000500013>
- Barroso DG, Figueiredo FAMM de A, Pereira R de C, Mendonça AVR, Silva L da C (2005). Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de Teca. *Revista Árvore*. Viçosa. 29(5): 671-679. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000500002>
- Benedetti EL, Wink C, Santin D, Sereda F, Roveda LF, Serrat BM (2009). Crescimento e sintomas em mudas de espinheira-santa com omissão de nitrogênio, fósforo e potássio. *Floresta*. 39(2): 335-343. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v39i2.14560>
- Braga F de A, Vale FR do, Venturin N, Aubert E, Lopes G de A (1995). Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. *Revista Árvore*. Viçosa. 19(1): 18-31.
- Camacho MA, Camara A P, Zardin AR (2014). Diagnose visual de deficiência de nutrientes em mudas de *Bombacopsis glabra*. *Cerne*. 20(3): 427-431. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031304>
- Carlos L, Venturin N, Macedo RLG, Higashikawa EM, Garcia MB, Farias E de S (2014). Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. *Revista Ciência Florestal*. 24: 13-21. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509813318>
- Corcioli G, Borges JD, Jesus RP (2014). Sintomas de deficiência nutricional de macronutrientes em mudas de *Khaya ivorensis* cultivadas em solução nutritiva. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 34(78): 159-164. <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.78.641>
- Dickson A, Leaf A, Hosner JF (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*. 36: 10-13. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Epstein E (1975). *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 341p.

Epstein E, Bloom AJ (2006). Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta. 403p.

Faquin V (1994). Nutrição mineral de plantas. Lavras: ESAL/FAEPE. 227p.

Ferreira DF (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 35: 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

Funk JL, Amatangelo KL (2013). Physiological mechanisms drive differing foliar calcium content in ferns and angiosperms. *Oecologia*. 173:23-32. <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2591-1>

Furlani AMC (2004). Nutrição mineral. In: Kerbauy GB (Ed.). *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 40-75.

Furlani PR, Silveira LCP, Bolonhezi D, Fanquin V (1999). Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agrônômico. *Boletim Técnico* 180. 52p. Available in: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/hidroponiap3/index.htm, access @ 16 April 2017.

George E, Marschner H, Jakobsen I (1995). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. *Critical Reviews in Biotechnology*. 15: 257-270. <http://dx.doi.org/10.3109/07388559509147412>

Gonçalves EO, Paiva HN, Neves JCL, Gomes JM (2012). Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. *Revista Árvore*. 36(2): 219-228. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000200003>

Hoagland DR, Arnon DI (1950). The water culture methods for growing plants without soil. Berkeley: University of California - The College of Agriculture. Agricultural Experiment Station. Circular. 347. 32p.

Locatelli M, Macêdo RS, Vieira AH (2007). Avaliação de altura e diâmetro de mudas de cedro rosa (*Cedrela odorata* L.) submetidas a diferentes deficiências nutricionais. *Revista Brasileira de Biociências*. 5(2): 645-647. <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/560/474>

Malavolta E (1980). Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres. 251p.

Malavolta E (2006). Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres. 638p.

Malavolta E, Crocomo OJ (1982). O potássio e a planta. In: *Potássio na Agricultura Brasileira*, Londrina, 1982. Anais, Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa. p.95-162.

- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos. 319p.
- Marques TCLL de SM, Carvalho JG de, Lacerda MPC, Mota PEF da (2004). Crescimento inicial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. *Cerne*, Lavras. 10: 184-195.
- Marschner H (2012). Mineral nutrition of higher plants. 3. ed. London: Academic Press. 889p.
- Martínez PE, García JMM, Sánchez M de la LH, Pérez GO (2006). Cultivo intercalado de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight) y su efecto sobre el contenido de materia orgánica en el suelo. *Revista UDO Agrícola*. 6 (1): 109-113.
- Matheus MT, Amaral JAT, Silva DG, Garcia DMN, Pizzol ECS, Sousa FC, Santi GC, Guariz HR, Lima KA, Hoffmann RG (2011). Sintomas de deficiência nutricional em plantas de jatobá. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*. 17(1): 89-97.
- Mendonça AVR, Nogueira FD, Venturin N, Souza JS (1999). Exigências nutricionais de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Aroeira do Sertão). *Revista Cerne*. 5: 65-75.
<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/18281>
- Mengel K, Kirkby EA (1987). Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute. 687p.
- Mishra G, Pandey AK, Arunachalam MK, Rao S (2015). Global Scenario of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. - A future tree of Agro forestry. *International Letters of Natural Sciences*. 30: 25-29.
[doi:10.18052/www.scipress.com/ILNS.30.25](https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.30.25).
- Moretti BS, Neto ADF, Pinto SIC, Furtini IV, Magalhães CAS (2011). Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Cerne*. 17(4) 453-463.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000400003>
- Muniz AS, Silva MAG (1995). Exigências nutricionais de mudas de peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*) em solução nutritiva. *Revista Árvore*. Viçosa. 19(2): 263-271.
- Niu J, Zhang W, Ru S, Chen X, Xiao K, Zhang X, Assaraf M, Imas P, Magen H & Zhang F (2013). Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain. *Field Crops Research*. 140:69-76. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.008>

Novais RF, Neves JCL, Barros NF (1991). Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araújo JD, Lourenço S. (Eds.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília-DF: EMBRAPA - SEA. pp.189-255.

Parker DR, Norvel WA (1999). Advances in solution culture methods for plant mineral nutrition research. In: Sparks DL. (Ed.). Advances in Agronomy. New York: Academic Press. 65:151-213. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60913-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60913-X)

Pettigrew WT (2008). Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*. 133: 670-681. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01073.x>

Sarcinelli TS, Ribeiro-Júnior ES, Dias LE, Lynch LS (2004). Sintomas de deficiência nutricional em mudas de *Acacia holosericea* em resposta à omissão de macronutrientes. *Revista Árvore*. Viçosa. 25(2): 173-181. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000200003>

Silveira RLVA, Moreira A, Takashi EN, Sgarbi F, Branco EF (2002). Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. *Cerne*. Lavras. 8(2): 107-116. <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/18218>

Sorreano MCM, Malavolta E, Silva DH, Cabral CP, Rodrigues RR (2011). Deficiência de macronutrientes em mudas de Sangra d'Água (*Croton urucurana* Baill.). *Revista Cerne*. 17: 347-352. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000300008>

Sorreano MCM, Rodrigues RR, Boaretto AE (2012). Guia de nutrição para espécies florestais nativas. São Paulo: Oficina de Textos. 254p.

Silva DSN, Venturin N, Rodas CL, Macedo RLG, Venturin RP, Melo LA (2016). Growth and mineral nutrition of baru (*Dipteryx alata* Vogel) in nutrient solution. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. Campina Grande. 20(12): 1101-1106. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1101-1106>

Silva EB, Gonçalves NP, Pinho PJ (2005). Limitações nutricionais para crescimento de mudas de umbuzeiro em Latossolo Vermelho distrófico no Norte de Minas. *Acta Scientiarum Agronomy*. Maringá. 27(1): 55-59. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v27i1.1923>

Silva EB, Tanure LPP, Santos SR, Rezende-Júnior PS (2009). Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 44(4):392-397. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000400009>

Silva RCB, Scaramuzza WLMP, Scaramuzza JF (2011). Sintomas de deficiências nutricionais e matéria seca em plantas de nim, cultivadas em solução nutritiva. *Cerne*. 17(1): 17-22. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000100003>

Souza MF, Martins MQ, Silva MFO, Coelho RI (2012). Omissão de macronutrientes em mudas de biribazeiro (*Rollinia mucosa* [Jacq.] Baill) cultivadas em solução nutritiva. *Agronomía Colombiana*. Bogotá. 30(1): 41-45. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652012000100006&lng=en&tlng=en

Souza SR, Fernandes MS (2006). Nitrogênio. In: Fernandes MS (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. pp.215-252.

Taiz L, Zeiger E (1998). *Plant physiology*. 2. ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates. 792p.

Taiz L, Zeiger E (2013). *Fisiologia vegetal*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed. 918p.

Venturin N, Carlos L, Souza PA, Macedo RLG, Venturin RP, Higashikawa EM (2014). Desempenho silvicultural de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight em função de diferentes espaçamentos e idades. *Cerne*. Lavras. 20(4): 629-636. <http://dx.doi.org/10.1590/0104776020142004668>

Vieira CR, Weber OLS, Scaramuzza JF (2016). Omissão de macronutrientes no crescimento inicial de *Tabebuia ochraceae*. *Ambiência* Guarapuava (PR). 12(4) 869-883. <http://10.5935/ambiencia.2016.04.08>

Vieira H, Chaves LHG, Viégas RA (2008). Crescimento inicial de moringa (*Moringa oleífera* Lam) sob omissão de nutrientes. *Caatinga*. 21(4): 51-56. <https://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/caatinga/article/view/705>

Wallau RLR, Borges AR, Almeida DR, Camargos SL (2008). Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. *Cerne*. Lavras. 14(4): 304-310. <http://www.redalyc.org/html/744/74411119003/>

White PJ, Broadley MR (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany*. 92(4): 487-511. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>

Table 1. Biometric parameters obtained for cedar seedlings (*Acrocarpus fraxinifolius*) grown under nutrients omission, 90 days after the transplant

TREATMENT	H (cm)	D (mm)	SDW (g)	RDW (g)	TDM (g)	SDR÷RDW	QDI
Complete	87.87 a	16.07 b	78.27 a	12.18 a	90.45 a	6.59 a	7.56 a
minus N	16.62 d	3.75 d	1.36 b	2.59 c	3.95 b	0.53 b	0.80 c
minus P	31.75 c	4.25 d	5.34 b	2.28 c	7.63 b	2.53 b	0.77 c
minus K	48.37 b	6.37 c	16.68 b	2.48 c	19.16 b	6.85 a	1.32 c
minus Ca	51.50 b	7.37 c	10.35 b	1.48 c	11.83 b	7.57 a	0.85 c
minus Mg	96.62 a	14.12 b	79.80 a	9.06 b	88.86 a	9.32 a	5.64 b
minus S	100.42 a	18.37 a	80.02 a	12.76 a	92.78 a	6.34 a	7.91 a
CV (%)	13.54	13.12	20.36	24.68	18.95	32.01	22.04

Means followed by the same letter in the column do not differ statistically from each other by the Scott-Knott test at 5% probability. H = shoot height, D = root collar diameter, SDW = shoot dry weight, RDW = root dry weight, TDM = total dry matter, and DQI = Dickson quality index. CV = Coefficient of Variation.

Table 2. Content of macronutrients ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) of shoots of cedar seedlings (*A. fraxinifolius*) grown under nutrients omission, 90 days after the transplant

TREATMENT	CONTENT ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)*					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Complete	23.28 c	1.98 b	5.15 c	6.82 b	1.09 c	0.46 d
minus N	11.30 d	7.64 a	10.19 a	13.88 a	2.14 a	0.94 c
minus P	32.34 b	1.30 b	9.31 a	8.81 b	1.59 b	1.24 b
minus K	31.64 b	7.26 a	2.17 d	7.73 b	1.81 b	1.85 a
minus Ca	39.24 a	7.55 a	6.91 b	1.56 c	1.94 a	1.59 a
minus Mg	26.39 c	2.14 b	6.27 b	6.76 b	0.58 d	0.67 c
minus S	25.84 c	1.74 b	5.26 c	6.54 b	0.86 c	0.36 d
CV (%)	18.58	26.78	14.65	14.37	15.99	19.94

*Means followed by the same letter in the column do not differ statistically from each other by the Scott-Knott test at 5% probability. CV = Coefficient of Variation.

Table 3. Accumulation of macronutrients (g.plant⁻¹) of shoots of cedar seedlings (*A. fraxinifolius*) grown under nutrients omission, 90 days after the transplant

TREATMENT	ACCUMULATION (g.plant ⁻¹)*					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Complete	1822.1 a	154.9 a	403.1 a	533.8 a	85.3 a	36.0 b
minus N	15.4 c	10.4 c	13.8 b	18.8 b	2.9 d	1.3 c
minus P	172.7 b	6.9 c	49.7 b	47.0 b	8.5 d	6.6 c
minus K	527.7 b	121.1 a	36.2 b	128.9 b	30.2 c	30.8 b
minus Ca	406.1 b	78.1 b	71.5 b	16.1 b	20.1 c	16.4 c
minus Mg	2105.1 a	170.7 a	500.3 a	539.4 a	46.3 b	53.5 a
minus S	2067.7 a	139.2 a	420.9 a	523.3 a	68.8 a	28.8 b
CV (%)	24.14	33.52	34.82	39.99	36.87	48.25

* Means followed by the same letter in the column do not differ statistically from each other by the Scott-Knott test at 5% probability. CV = Coefficient of Variation.



Figure 1. Symptomatology of deficiency of macronutrients on cedar seedlings (*A. fraxinifolius*) grown in nutritive solution. The left side of each picture shows plants grown in complete nutrient solution, and the right side shows solution formulated with deficiency of N (A), P (B), K (C) Ca (D), Mg (E), and S (F).

**ARTIGO 2 - EFFECT OF DEPRIVATION OF SELECTED SINGLE
MICRONUTRIENTS ON BIOMETRIC PARAMETERS OF CEDAR
SEEDLINGS (*Acrocarpus fraxinifolius*) GROWN IN NUTRITIVE
SOLUTION**

Artigo formatado de acordo com as Normas da **Revista Ciência Rural**,
submetido em 22/09/2017.

prepared for **Revista Ciência Rural

(VERSÃO PRELIMINAR)

Versão original, como submetida.

***original submitted version

Effect of deprivation of selected single micronutrients on biometric parameters of cedar seedlings (*Acrocarpus fraxinifolius*) grown in nutritive solution

Efeito da omissão de micronutrientes sobre os parâmetros biométricos de mudas de Cedro Indiano (*Acrocarpus fraxinifolius*) cultivadas em solução nutritiva

ABSTRACT

The purpose of this study was to assess biometric parameters of cedar seedlings (*Acrocarpus fraxinifolius*) grown in nutritive solution under deprivation of selected single micronutrients. The trial was established in Completely Randomized Design with seven treatments, four replications and one plant per pot. Treatments consisted of complete nutrient solution Hoagland and Arnon, and deprivation of the following selected single micronutrients: boron (B), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo) and zinc (Zn). Macronutrients were provided to all treatments. The following biometric parameters were assessed 90 days after the transplant: shoot height, root collar diameter, root and shoot dry weight. The visual symptomatology of micronutrients deficiency was also evaluated, as well as the content and accumulation of nutrients in aerial parts of seedlings. The Sisvar statistical analysis system was run for Analysis of Variance, and averages were compared by means of Scott-Knott test at 5% significance. The deprivation of Fe was found to be the most limiting factor for plants growth and obtaining of seedlings shoot dry weight, followed by treatments consisting of deprivation of selected single micronutrients as follows: Cu, B, Mn, Mo and Zn. Seedlings grown under deprivation of iron showed acute chlorosis and necrosis, followed by plants death, while seedlings grown under deprivation of other micronutrients under study showed different levels of generalized chlorosis and low plants growing rate. The deficiency of B, Mo or Zn promoted the increase of the content of Fe in shoots of cedar seedlings and decrease of the content of Cu.

Keywords: nutritional requirements, forest nutrition, Indian cedar.

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar parâmetros biométricos de mudas de Cedro Indiano (*Acrocarpus fraxinifolius*) cultivadas em solução nutritiva, sob omissão de micronutrientes. O ensaio foi estabelecido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com sete tratamentos, quatro repetições e uma muda por parcela; e consistiu dos seguintes tratamentos: solução nutritiva de Hoagland & Arnon e omissão individual de B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. Os macronutrientes foram fornecidos em todos os tratamentos. Aos 90 dias depois do transplante foram avaliados os seguintes parâmetros biométricos: altura da parte aérea, diâmetro do coleto, massa seca radicular e massa seca da parte aérea. Sintomas de deficiência de micronutrientes foram avaliados, bem como o teor de nutrientes na parte aérea. Os dados foram analisados no pacote estatístico Sisvar. Foi efetuada a Análise de Variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de agrupamento de Scott-Knott a 5% de significância. A omissão de Fe foi a que constituiu o tratamento com maior efeito limitante no crescimento de mudas e acumulação de matéria seca na parte aérea de mudas de Cedro Indiano, seguida dos tratamentos com omissão consecutiva de Cu, B, Mn, Mo e Zn. Mudas cultivadas sob omissão de ferro desenvolveram clorose aguda e necrose foliar, seguida da morte de mudas, enquanto que mudas cultivadas sob omissão dos outros micronutrientes em estudo desenvolveram diferentes níveis de cloros característica e taxa de crescimento reduzida. De uma forma geral, a deficiência de B, Mo e Zn promoveu o aumento do teor de ferro na parte aérea de mudas de Cedro Indiano e redução do teor de Cu.

Palavras-chave: exigência nutricional, nutrição florestal, Cedro Indiano.

INTRODUCTION

The increased demand for forest products has been leading to constant search for novel silvicultural techniques to increase the productivity of forest plantations worldwide. Although Brazil has the largest area of

natural tropical forest in the world, there is a successful experience in introducing species from other countries, such as species of the genera *Eucalyptus* and *Pinus*. In addition, a new specie, *Acrocarpus fraxinifolius*, has recently aroused the interest of Brazilian researchers for its rapid growth and utilization, especially in agrosilvo pastoral systems and recovery of degraded areas (Gonçalves et al., 2012).

Acrocarpus fraxinifolius is a large deciduous emergent tree native in the family Fabaceae, which has been used as shade trees in coffee plantations in India, as well as for wood production and/or forest enrichment. Besides, this specie is found to be the best-suited tree for plantations in badly degraded areas which are not protected from cattle grazing (Gonçalves et al., 2012; Martínez et al., 2006).

The current state of understanding of *A. fraxinifolius* is focused on silvicultural aspects, plantations management and utilization of the specie (Mishra et al., 2015; Martínez et al., 2006). However, there is no sufficient information regarding the nutritional requirements of the species so far (Sorreano et al., 2012; Aquino et al., 2013), as well as there is no information in Brazil approaching the specie *A. fraxinifolius* in this perspective. Thus, considering that fertilization practices are fundamental

for the production process of high quality seedlings, and to enable forest plantations (Gonçalves et al., 2012; Mishra et al., 2015), a study about fertilizing of potentially producing species such as *A. fraxinifolius* is found to be necessary.

Studying the rationalization of plants nutrition demands in the cedar seedlings production process may effectively contribute to the increase of the knowledge about nutrient interactions on plant growth and crop productivity, thus contributing to the increase of production and productivity in forest plantations.

The Minus One Element Technique is used to assess nutritional requirements of plant species by determining soil nutrient deficiencies in actual field or greenhouse conditions, based on the law of minimum. This technique consists of testing a complete nutrient treatment along with treatments based on individual omissions of other crop nutrients (Silva et al., 2016). Therefore, considering that the Indian cedar, the stately deciduous and fast-growing tree, is a useful tropical plant found in many countries in the world, this work was performed aiming to assess the effect of deprivation of selected single micronutrients, namely, B, Cu, Fe, Mn, Mo and Zn, on biometric parameters of cedar seedlings (*Acrocarpus*

fraxinifolius) grown in nutritive solution. Expected results may be used to guide and increase efficiency in the cedar seedlings production process at Nursery level.

MATERIAL AND METHODS

The trial was performed in a greenhouse in the Forest Nursery of the Federal University of Lavras (UFLA) located in Lavras, State of Minas Gerais, Brazil, at 21°14' South, 44°00' West and 919 meters elevation. Seeds of *Acrocarpus fraxinifolius* were collected from mother trees at the Historical Campus of UFLA, cleaned and scarified in the Laboratory of Silviculture of the Department of Forest Sciences as outlined in Venturin et al. (2014). Then, seeds were sown in 55 cm³ tubes containing vermiculite substrate, and wet using deionized water.

After reaching 5 to 10 cm height, about 30 days after sowing, seedlings were washed with deionized water in bare root and transplanted to a plastic tray containing 20 liters of complete nutrient solution Hoagland and Arnon (1950). The nutrient solution was maintained under constant aeration with compressed air to maintain the air flow and oxygenate the hydroponic nutrient solution. This solution was at 30% of its ionic force

and seedlings were kept for 15 days in each solution as outlined in Marques et al. (2004). Then, the nutrients solution was changed and adjusted to 60% of its ionic force. After these days, which are described here as the adaptation period, each seedling was transplanted in a 5 liters pot containing nutritive solution at 100% of its ionic force, and put on a stand under constant aeration. The pH was about 5.5 and seedlings were then fixed by means of the stem with the help of polystyrene sheets about 2 cm thick (Silva et al., 2016).

The trial was established in Completely Randomized Design with seven treatments, four replications, and one plant per pot. Treatments consisted of complete nutrient solution Hoagland and Arnon, and omissions of selected single micronutrients, namely B, Cu, Fe, Mn, Mo and Zn, based on the law of minimum. Macronutrients were provided to all treatments under study.

Analytical reagent and deionized water were used to prepare nutrient stock solutions. Plants were daily monitored and the solution volume was completed using deionized water whenever it was necessary. Seedlings were constantly monitored to diagnose nutrient deficiency symptoms under test and the common symptoms of each micronutrient were

recorded at seedlings harvest. The nutrient solution was changed biweekly, since it was used for a fast-growing forest specie (*A. fraxinifolius*), and because this solution is characterized by high concentration of nutrients (Epstein & Bloom, 2006).

About 90 days after the transplant, shoot height (H) and root collar diameter (D) were measured. Then, plants were harvested, separated into shoots and roots, and washed in running water and deionized water. After, plants were dried in a forced air heating system (hothouse) at 65°C temperature (Sorreano et al., 2011). The plant material was then weighted on a 0.0005 g precision scale to estimate the following biometric parameters: shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), and total dry matter (TDM). The ratio given by RDW and SDW was obtained, as well as the Dickson quality index (DQI) given by the following equation: $DQI = TDM_{(g)} / [(H_{(cm)} / D_{(mm)}) + (SDW_{(g)} / RDW_{(g)})]$ (Dickson et al., 1960).

The shoot dry matter was ground in a Wiley-type laboratory mill and then subjected to sulphuric and nitric-perchloric digestion for the estimation of the content of B, Cu, Fe, Mn, Mo and Zn outlined in Malavolta et al. (1997).

The Sisvar Statistical Analysis System (Ferreira, 2011) was used for statistical analysis and the Analysis of Variance was carried out to determine the significance of differences of means of the following biometric parameters: H, D, SDW, RDW, TDM, $RDW \div SDW$, and DQI. Averages were then compared by means of Scott-Knott test at 5% probability.

RESULTS AND DISCUSSION

Growth of seedlings

Treatments consisting of omissions of selected single micronutrients, namely, B, Cu and Fe were found to be the most limiting factors for plants growth, in particular the shoot height (H), root collar diameter (D), shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), total dry matter (TDM), the ratio $RDW \div SDW$ and the Dickson quality index (DQI). In addition, statistically significant differences between treatments were found (Table 1) and the limiting order was as follows: Fe > B > Cu > Mn > Mo > Zn.

The deficiency of selected single micronutrients, Mn, Mo and Zn, did not cause significant effect on biometric parameters under study. There were

no statistically significant differences between these treatments from each other and when compared to the complete nutrient solution Hoagland and Arnon. This might be because of the low demand of these micronutrients by cedar seedlings, and the amount of such micronutrients existing in cedar seeds and substrate used for sowing. This shows that these treatments cannot be considered limiting factors for plants growth, especially in the first growing stages of seedlings of *Acrocarpus fraxinifolius*.

Studies show that the deprivation of a selected single micronutrient result in the decrease of its concentration into plant tissues, and the acute deficiency of such micronutrient may trigger symptoms on leaves, with negative effect in growth rate and production (Marschner, 2012).

The treatment consisting of omission of B showed a significant restrictive effect on cedar seedlings growth, in particular the plants height (40.9%), root collar diameter (31.7%), shoot dry weight (72.2%), root dry weight (42.2%), total dry matter (68.1%), ratio RDW÷SDW (51.1%) and Dickson quality index (51.9%) (Table 1). Similar results were also described in Sorreano et al. (2008), Marques et al. (2004) and Corcioli et al. (2016).

Boron is a micronutrient required for all plant nutrition. The main functions of B are relate to cell wall strength and development, cell division, fruit and seed development, sugar transport, and hormone development (Marschner, 1997; Mengel & Kirkby, 2001). Thus, the deficiency of boron in cedar seedlings may have affected biometric parameters under study due to the intense metabolic activity and high carbohydrates intake; although the effect of deprivation of this micronutrient might cause indirect or secondary effect as described in Marschner (2012).

The deficiency of Cu caused a significant restrictive effect on cedar seedlings growth as follows: plants height (40.4%), root collar diameter (15.4%), shoot dry weight (57.9%), root dry weight (25.7%), total dry matter (53.6%), ratio $RDW \div SDW$ (44.6%) and Dickson quality index (26.1%) (Table 1). Studies have been developed and similar patterns regarding the same biometric parameters were found for other plant species (Wallau et al., 2008; Silva et al., 2009; Silva et al., 2016; Sorreano et al., 2008).

Copper is an micronutrient and is involved in several metabolic processes (Wallau et al., 2008). Deficient Cu can cause disorders in plant growth

and development by adversely affecting important physiological process in plants. Besides, particular photosynthetic electron transport is altered under copper deficiency conditions (Epstein & Bloom, 2006; Silva et al., 2016; Wallau et al., 2008). Thus, Cu deficient in this study showed a change in root and leaves architecture. Typical symptoms of Cu deficiency appeared first at the tips of young leaves and then extend downward along the leaf margins as also described in Marschner (1997). In addition, this author states that leaves may also be twisted or malformed and show chlorosis or even necrosis.

The treatments consisting of omission of Fe was the most limiting factors for plants growth in this study, as follows: plants height (87.7%), root collar diameter (81.6%), shoot dry weight (98.4%), root dry weight (97.4%), total dry matter (98.2%), ratio RDW÷SDW (30.5%) and Dickson quality index (97.4%) (Table 1). Results described by Marques et al. (2004), Wallau et al. (2008), Silva et al. (2009), Silva et al. (2016) and Sorreano et al. (2008) show the relevance of this micronutrient in different plant species.

Iron is an micronutrient because plays critical role in metabolic processes such as DNA synthesis, respiration, and photosynthesis (Wallau et al.,

2008). Iron is one of the most limiting micronutrient for plant growth and metabolism, primarily due to the low solubility of the oxidized ferric form in aerobic environments (Epstein & Bloom, 2006; Silva et al., 2016). Iron deficiency is a common nutritional disorder in many crop plants, resulting in poor yields and reduced nutritional quality. In this study, the deficient in Fe showed chlorosis in the new leaves. Plants showing these symptoms died about 25 days after the transplant probably due to disorders in respiration, photosynthesis and many other metabolic processes.

Symptoms of deficiency of micronutrients

Cedar seedlings grown in nutritive solution, with a micronutrient missing, showed visual symptoms of deficiency in different moments. The first common symptoms were observed for treatments consisting of omission of iron and boron at 15 days after the transplant, followed by treatments consisting of omission of Mn, Mo, Cu and Zn, at 60 days after the transplant (Figure 1). However, seedlings were kept in the greenhouse under monitoring for 90 days after the transplant.

Boron (B): Seedlings grown under deficiency of B showed smaller plants with small leaves and leaflets (Figure 1A), and dying of shoots and tips of leaves, resulting in the loss of apical dominance of seedlings. This might

be because B deficiency symptoms arise from disturbance of the cell wall structure, which caused disturbance in the cell elongation as described in Marschner (2012). Sorreano et al. (2008) reported that B deficiency affects vegetative and reproductive growth of plants resulting in inhibition of cell expansion, death of meristem and reduced fertility for *Croton urucurana*, which may also be associated with the symptoms described in this study.

Copper (Cu): Cedar seedlings grown in nutritive solution with Cu missing showed small leaves and leaflets and less consistency of petioles, with plants showing a fade aspect (Figure 1B). According to Malavolta et al. (1997), Cu participates in numerous physiological processes and is an essential cofactor for many metalloproteins. However, Cu is immobile, meaning its deficiency symptoms occur in the newer leaves, although varying depending on the crop. Typically, the symptoms start as cupping and a slight chlorosis of either the whole leaf or between the veins of the new leaves. Within the chlorotic areas of the leaf, small necrotic spots may form, especially on the leaf margins. In this study, as the symptoms progressed, the newest leaves were smaller in size, lose their sheen and in some cases leaves became wilt. The apical meristems of seedlings became

necrotic and died, inhibiting the growth of lateral branches as also described in Camargos et al. (2002) for *Bertholletia excelsa*.

Iron (Fe): The deprivation of Fe was found to be the most limiting factor for cedar seedlings. Plants showed unsightly yellow leaves, low-growing and all seedlings died at 25 days after the transplant (Figure 1C). Malavolta et al. (1997) and Sorreano et al. (2008) stated that the most obvious symptom of iron deficiency in plants is commonly called leaf chlorosis. This is where the leaves of the plant turn yellow, but the veins of the leaves stay green. In this study, leaf chlorosis started at the tips of new growth in the seedling and worked its way to older leaves on the seedling as the deficiency got worse.

Iron is needed to produce chlorophyll, hence its deficiency causes chlorosis (Sorreano et al., 2008). This occurs chiefly because Fe is not mobile in the plant. The young leaves cannot draw any Fe from the older leaves. With a serious Fe shortage, the older leaves and the smaller veins in the leaf can also turn yellow; the reason why plants under deprivation of Fe died in this study. In addition, this plants dying was because Fe is poorly absorbed by the plant, associated with its functions in the overall

metabolism of the plant (Camargos et al., 2002; Taiz & Zeiger, 2013; Wallau et al., 2008).

Manganese (Mn): The deficiency of Mn was characterized by the appearance of interveinal chlorosis (yellow leaves with green veins) on the young leaves, and sunken spots that appeared in the chlorotic areas between the veins. The seedlings growth was also be reduced (Figure 1D). According to Rosolem & Ferelli (2000), Mn deficiency occurs from low fertilizer application rates, use of general purpose fertilizers, which typically have reduce micronutrient contents, and excessive leaching of nutrients. The role of Mn in plants is extremely crucial. Thus, deficiency, which is common in soils that have neutral to high pH or a substantial deal of organic matter, can cause serious problems to plants, with severe damages on seedlings, as occurred in cedar seedlings under study.

Molybdenum (Mo): Leaves of seedlings with symptoms of deficiency of Mo showed a pale green or yellowish green color between the veins and along the edges (Figure 1E). Then, the leaf tissue at the margins of leaves died. The older leaves are the more severely affected (Sorreano et al., 2008), because where the plant has insufficient Mo, the nitrates accumulate in the leaves and the plant cannot use them to make proteins.

The result is that the plant becomes stunted, with chlorosis and, at the same time, the edges of the leaves may become scorched by the accumulation of unused nitrates (Taiz & Zeiger, 2013).

Zinc (Zn): Seedlings grown under deficiency of Zn showed some varying pattern of chlorosis of the new leaves (Figure 1F) and necrotic spots on the margins or leaf tips. New leaves were smaller in size and often cupped upward or distorted. These symptoms occurred because Zn is used in the formation of chlorophyll and some carbohydrates, conversion of starches to sugars (Neves et al., 2004; Wallau et al., 2008) as well as in the formation of auxins, which help with growth regulation and stems elongation. Neves et al. (2004) state that Zn is also immobile, meaning the deficiency symptoms occur in the new leaves and vary depending on the crop, the reason why the right diagnosis of symptoms of deficiency is very important.

Concentration of micronutrients

Plant concentrations of essential elements may exceed the critical concentrations, the minimum concentrations required for growth, and may vary somewhat from species to species (Marschner, 2012). When one nutrient is missing or deficient, such deficiency causes anomalies due

to changes made to the plant metabolism (Epstein & Bloom, 2006). Thus, the Minus One Element Technique provides semiquantitative nutrients-related data that may limit plants development (Silva et al., 2016).

Micronutrients are required only in very small quantities and their concentrations in plant tissues are only a small proportion of the concentrations of macronutrients (Malavolta et al., 1997; Neves et al., 2004). Since most micronutrients are relatively immobile in the plant, they are not readily transferred from older leaves to younger ones. Therefore, the concentration of the nutrient tends to be lowest in younger leaves. Thus, symptoms of deficiency are most pronounced in young leaves which develop after the supply of the nutrient has run low, as occurred with the deprivation of selected single micronutrients in a nutritive solution described in this study for seedlings of *Acrocarpus fraxinifolius*.

Table 2 shows that contents of B, Cu, Mn, and Zn increased in the treatment consisting of omission of Fe for shoots of seedlings of *A. fraxinifolius* when compared to the complete nutrient solution. These may have been caused by the concentration effect (Corcioli et al., 2016; Silva et al., 2016), which can partially explain the inhibition of uptake of a

particular ion by another ion, particularly if the concentration of a competing ion in solution is much greater than the other ion; with effect in the low biomass production by seedlings of *A. fraxinifolius*.

The content of B increased significantly in treatments consisting of omissions of Mn and Mo for shoots of seedlings of *A. fraxinifolius* (Table 2). These effects may have respectively resulted from the following situations: (i) lower accumulation of biomass that increased the concentration of B into plant tissues; and (ii) dilution effect from which, with the deprivation of Mo, a relative rate of dry matter accumulation decreased more rapidly than the rate of B accumulation, resulting in greater final concentrations.

The content of Cu decreased significantly in treatments consisting of omissions of Mo and Zn for shoots of seedlings of *A. fraxinifolius* (Table 2), as result of the concentration effect as stated in Silva et al. (2016). This effect means that when seedlings were exposed to the deprivation of Mo or Zn, the total dry matter accumulation decreased. In addition, the uptake of Mo or Zn did not occur, in the same context that the concentration of copper in the tissue decreased.

CONCLUSIONS

The deprivation of selected single micronutrients, namely, boron, copper, iron, manganese, molybdenum and zinc limited the seedlings growth and accumulation of shoot dry weight. Treatments consisting of omissions of boron, copper and, specially, iron were found to be the most limiting factors. Visible morphological abnormalities described as typical symptoms of deficiency were shown for each micronutrient under study, with emphasis on characteristic chlorosis, decreased growth of seedlings and plants dying.

The nutrient interactions measured in terms of growth response and change in concentration of nutrients showed that balanced supply of essential micronutrients is one of the most important factors in increasing seedlings development. Besides, the lack of a micronutrient does not mean absence of changes in the system because of the interaction effect, which is complex in plants nutrition, especially in the first stages in seedlings development.

REFERENCES

Aquino, L.A. de et al. Características agronômicas e o estado nutricional de cultivares de girassol irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental. v.17,p.551-557, 2013. Accessed: August11, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000500013>.

Camargos, S.L. et al. Diagnose nutricional em mudas de castanheira do-brasil. **Revista Agricultura Tropical**. Cuiabá. v.6, n.1, p.81-96, 2002. Accessed: June 23, 2017.

Corcioli G. et al. Sintomas de deficiência nutricional de macronutrientes em mudas de *Khaya ivorensis* cultivadas em solução nutritiva. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 34, n.78, p.159-164, 2014. Accessed: June 14, 2017. <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.78.641>.

Dickson, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**. v.36, p.10-13, 1960. Accessed: June 23, 2017. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

Epstein, E.; Bloom, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

Ferreira, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 35, p. 1039-1042, 2011. Accessed: June 23, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

Gonçalves, E. O. et al. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. **Revista Árvore**. v. 36, n.2, p.219-228, 2012. Accessed: June 23, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000200003>.

Hoagland, D. R.; Arnon, D. I. **The water culture methods for growing plants without soil**. Berkeley: University of California - The Colege of Agriculture. Agricultural Experiment Station. Circular 347, 1950. 32p.

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

Marschner, H. Functions of mineral: micronutrients. In: Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1997. P.313-404. Accessed: June 23, 2017.

Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Academic Press, 2012. 889p.

Marques, T. C. L. L. de S. M. et al. Crescimento inicial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras. v. 10, p.184-195, 2004. Accessed: July 5, 2017.

Martínez, P. E. et al. Cultivo intercalado de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight) y su efecto sobre el contenido de materia orgánica en el suelo. **Revista UDO Agrícola**. v.6, n.1, p.109-113, 2006. Accessed: August 11, 2017.

Mengel, K.; Kirkby, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

Mishra, G. et al. Global Scenario of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. - A future tree of Agroforestry. **International Letters of Natural Sciences**. v. 30, p.25-29, 2015. Accessed: August 11, 2017. doi:10.18052/www.scipress.com/ILNS.30.25.

Neves, O. S. C. et al. Crescimento e sintomas visuais de deficiências de micronutrientes em umbuzeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**,

Jaboticabal. v. 26, n.2, p.306-309, 2004. Accessed: August 11, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000200030>.

Rosolem, C. A.; Ferelli, L. Resposta diferencial de cultivares de algodão ao manganês em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, p.355-361, 2000. Accessed: June 14, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000200013>.

Silva, D. S. N. et al. Growth and mineral nutrition of baru (*Dipteryx alata* Vogel) in nutrient solution. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**. Campina Grande. v. 20, n. 12, p. 1101-1106, 2016. Accessed: June 14, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1101-1106>.

Silva, E. B. et al. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009. Accessed: July5, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000400009>.

Sorreano, M. C. M. et al. Deficiência de micronutrientes em mudas de sangra d'água (*Croton urucurana* Baill.). **Revista Cerne**. v. 14, p. 127-132, 2008. Accessed: July 27, 2017.

Sorreano, M. C. M. et al. Deficiência de macronutrientes em mudas de Sangra d'Água (*Croton urucurana* Baill.). **Revista Cerne**. v. 17, p. 347-352, 2011. Accessed: August11, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000300008>.

Sorreano, M. C. M.; Rodrigues, R. R.; Boaretto, A. E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 254p.

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

Venturin, N. et al. Desempenho silvicultural de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight em função de diferentes espaçamentos e idades. **Cerne**. Lavras. v. 20, n. 4, p. 629-636, 2014. Accessed: June 23, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0104776020142004668>.

Wallau, R. L. R. et al. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mognocultivadas em solução nutritiva. **Cerne**. Lavras. v. 14, n. 4, p. 304-310, 2008. <http://www.redalyc.org/html/744/74411119003/>. Accessed: June 14, 2017.

Table 1. Biometric parameters obtained for cedar seedlings (*A. fraxinifolius*) grown under micronutrients omission, 90 days after the transplant

TREATMENT	H (cm)	D (mm)	SDW (g)	RDW (g)	TDM (g)	SDR÷RDW	QDI
Complete	87.87 a	16.07 a	78.27 b	12.18 a	90.45 b	6.59 a	7.56 a
minus B	51.87 b	10.97 c	21.78 c	7.04 b	28.83c	3.22 b	3.63 c
minus Cu	52.37 b	13.55 b	32.94 c	9.05 b	41.99 c	3.65 b	5.59 b
minus Fe	10.75 c	2.95 d	1.27 d	0.32 c	1.59 d	4.58 b	0.20 d
minus Mn	96.62 a	17.20 a	80.37 b	13.57 a	94.45 b	6.16 a	8.06 a
minus Mo	103.70 a	17.50 a	95.26 a	14.48 a	109.70 a	6.57 a	8.75 a
minus Zn	97.62 a	18.77 a	91.61 a	16.08 a	107.60 a	5.80 a	9.94 a
CV (%)	12.71	10.77	18.22	21.54	17.01	26.25	19.40

Means followed by the same letter in the column do not differ statistically from each other by the Scott-Knott test at 5% probability. H = shoot height, D = root collar diameter, SDW = shoot dry weight, RDW = root dry weight, TDM = total dry matter, and DQI = Dickson quality index. CV = Coefficient of Variation.

Table 2. Content of micronutrients of shoots of cedar seedlings (*A. fraxinifolius*) grown in nutritive solution under nutrients omission

TREATMENT	CONTENT OF MICRONUTRIENTS (mg/ kg ⁻¹)*				
	Boron	Copper	Iron	Manganese	Zinc
Complete	83.52 b	22.83 b	24.87 a	85.95 b	93.70 b
minus B	60.97 c	13.09 c	44.92 a	43.27 b	135.10 b
minus Cu	80.75 b	10.92 c	46.00 a	68.95 b	73.12 b
minus Fe	94.46 a	36.10 a	16.70 a	900.85 a	274.50 a
minus Mn	93.76 a	8.03 c	56.77 a	18.92 b	33.05 b
minus Mo	91.01 a	4.74 d	67.55 a	30.02 b	24.22 b
minus Zn	82.52 b	2.90 d	56.12 a	41.55 b	3.55 b
CV (%)	9.13	21.70	80.16	24.07	70.57

* Means followed by the same letter in the column do not differ statistically from each other by the Scott-Knott test at 5% probability. CV = Coefficient of Variation.



Figure 1. Symptomatology of deficiency of micronutrients on cedar seedlings (*A. fraxinifolius*) grown in nutritive solution. The left side of each Picture shows plants grown in complete nutrient solution, and the right side shows solution formulated with deficiency of Boron (A), Copper (B), Iron (C) Manganese (D), Molybdenum (E), and Zinc (F).

**ARTIGO 3 - EFEITO DO CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO NA
NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Acrocarpus*
fraxinifolius WIGHT & ARN.**

Artigo formatado de acordo com as Normas da
Revista Floresta e Ambiente- FLORAM

prepared for **Revista Floresta e Ambiente - FLORAM

(VERSÃO PRELIMINAR)

**EFFECT OF CALCIUM, MAGNESIUM AND POTASSIUM IN
NUTRITION AND INITIAL GROWTH OF CHUCK OF *Acrocarpus
fraxinifolius* Wight & Arn.**

**EFEITO DO CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO E NO
CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Acrocarpus fraxinifolius* Wight
& Arn.**

RESUMO

O uso de fertilizantes é de extrema importância para desenvolvimento de mudas de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. Porém existem poucos estudos sobre a influência da interação entre cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) na nutrição e crescimento em mudas de *Acrocarpus fraxinifolius*. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito das combinações de doses de Ca, Mg e K na nutrição, crescimento, teor foliar e acúmulo de nutrientes em plantas *Acrocarpus fraxinifolius*. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 5, sendo três relações Ca e Mg (1:1, 3:1 e 1:3) e cinco doses de K (0, 50, 100, 150, 200 mg dm⁻³), com quatro repetições. Foram avaliados altura da parte aérea, diâmetro do colo, MSPA, MST, MSR, IQD, teor e acúmulo de Ca, Mg e K. O crescimento, teor e acúmulo de Ca, Mg e K nas plantas de *Acrocarpus fraxinifolius* foram influenciados por doses de K aplicadas no solo; O maior crescimento e produção de matéria seca, teor e acúmulo de Ca, Mg e K na parte aérea das plantas foram obtidos quando aplicada doses de K no solo entre 70 - 100 mg dm⁻³. A relação Ca e Mg de 1:1 influenciou positivamente o crescimento, produção da MSPA, teores e acúmulo foliares de Ca, Mg e K nas plantas de *Acrocarpus fraxinifolius*. A relação de Ca: Mg no solo na proporção de 3:1 influenciou negativamente o crescimento, teores e acúmulo de nutrientes das plantas do *Acrocarpus fraxinifolius*.

Palavras-chave: Viveiro; nutrição de cedro; fertilidade do solo.

ABSTRACT

The use of fertilizers is extremely important for the development of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn seedlings, but there are few studies on the influence of the interaction between calcium (Ca), magnesium (Mg) and potassium (K) on nutrition and development of the *Acrocarpus fraxinifolius* in seedlings. The objective of this study was to evaluate the effect of Ca, Mg and K dose combinations on nutrition, growth, foliar content and nutrient accumulation, as well as the influence of this interaction on the Ca, Mg and K ratio in *Acrocarpus fraxinifolius* plants. The experiment was conducted in greenhouse, in a completely randomized design, in a 3 x 5 factorial scheme, with three Ca and Mg ratios (1: 1, 3: 1 and 1: 3) and five K doses (0, 50, 100, 150, 200 mg dm⁻³), with four replicates. The shoot height, shoot diameter, dry shoot mass, total dry mass, root dry mass, Dickson quality index, and accumulation of Ca, Mg and K. The growth, content and accumulation of Ca, Mg and K in the plants of *Acrocarpus fraxinifolius* were influenced by doses of K applied to the soil. The highest growth and dry matter yield, content and accumulation of Ca, Mg and K in the aerial part of the plants were obtained when applying doses of K in the soil between 70 - 100 mg dm⁻³. The Ca and Mg ratio of 1: 1 positively influenced the growth, dry matter yield, shoot contents and accumulation of Ca, Mg and K in *Acrocarpus fraxinifolius* plants. The ratio of Ca: Mg in the soil in the ratio of 3: 1 negatively influenced the growth, nutrient content and accumulation of the *Acrocarpus fraxinifolius* plants.

Keywords: Nursery; cedar nutrition; soil fertility.

INTRODUÇÃO

Acrocarpus fraxinifolius Wight & Arn é uma árvore da família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae que tem como sinonímia botânica *Acrocarpus combretiflorus* e popularmente conhecido como Cedro Indiano. O *Acrocarpus fraxinifolius* produz madeira dura e de cerne avermelhado utilizada em construção, mobiliário e produção de celulose (Carvalho, 2003).

Conhecer a silvicultura dessas espécies é um fator essencial, visto que a exploração excessiva de tais recursos pode gerar perdas enormes para o futuro. Um dos fatores limitantes relacionados à produção de mudas dessas espécies é o desconhecimento dos requerimentos nutricionais das mesmas, o que pode comprometer o sucesso de projetos de reflorestamento e de recomposição das áreas.

Embora o Brasil detenha a maior área de floresta tropical do mundo, há, no país, uma experiência bem-sucedida em introdução de espécies de outros países, como é o caso dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Recentemente, além de espécies como *Toona ciliata* var.

Australis (cedro australiano) uma nova espécie, *Acrocarpus fraxinifolius* tem despertado o interesse dos pesquisadores brasileiros pela diversificação do seu uso na indústria madeireira, pelo rápido crescimento, pelo potencial que representa para componentes de sistemas agrossilvipastoris e na recuperação de áreas degradadas (Erausquim, 2012).

A acidez do solo dificulta o aumento da produtividade das culturas devido principalmente aos altos teores de alumínio trocável e aos baixos teores de cálcio e magnésio (RAIJ, 1991), que prejudicam o desenvolvimento da maioria das espécies. A correção da acidez do solo, por meio da calagem (CaCO_3 e MgCO_3), levando em consideração a relação Ca: Mg, contribui de forma significativa para o aumento da produtividade das espécies em virtude da melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Freiria et al., 2008). A calagem favorece a manutenção do teor de K trocável do solo, pois aumenta a capacidade troca catiônica efetiva e reduz as perdas de cátions que este

solo pode reter, por lixiviação, porque promove a alteração do pH, da disponibilidade e absorção dos nutrientes do solo, influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas (Barbosa et al., 1995).

Ainda assim, a absorção do K pelas plantas é favorecida em comparação com outras espécies catiônicas sendo, dentre os cátions macronutrientes, o que se apresenta, em geral, em menor e maior concentração no solo e na planta, respectivamente. Por outro lado, quando a disponibilidade de Ca e Mg aumentam em relação à de K, devido à calagem, a absorção deste último pelas plantas é reduzida pela competição entre os três cátions. Entretanto, a calagem pode aumentar a disponibilidade de K no solo, aumentando assim a sua absorção pela planta (Marschner, 2012).

Tendo em vista o pouco conhecimento sobre as interações entre macronutriente no cultivo do *Acrocarpus fraxinifolius*, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito das combinações de doses de Ca, Mg e K na nutrição, crescimento, teor foliar e acúmulo bem como a influência dessa interação na relação Ca: Mg e K no desenvolvimento das plantas de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no sul do estado de Minas Gerais, sob as coordenadas geográficas 21° 14' S de latitude, 45° 00' W de longitude de altitude de 918 m, no período de Março a Julho de 2016.

De acordo com Dantas, Carvalho e Ferreira (2007), o clima de Lavras, segundo a classificação de Köppen é Cwb, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com temperatura média anual de 19,3 °C e precipitação média anual de 1.411 mm.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa (Santos et al., 2013). As análises física e química do solo foram determinadas conforme Donagema et al. (2011) e Silva (2009), e os resultados encontram-se na Tabela 1.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, totalizando 60 parcelas experimentais. O arranjo dos tratamentos foi em esquema fatorial (5x3), ou seja, com cinco doses de K (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³) aplicado na forma de KCl, e três relações Ca e Mg nas seguintes proporções: 1:1, 1:3 e 3:1. Cada parcela foi constituída por um vaso plástico com 5 dm³ de solo.

Com base nos resultados da análise química do solo, foi efetuada a calagem para elevar a saturação por bases a 60%, utilização como fonte o carbonato de cálcio (CaCO₃) e magnésio (MgCO₃) p. a. nas seguintes proporções de Ca e Mg 1:1, 1:3 e 3:1. (Usar a relação Ca e Mg resultante). Pela baixa CTC e teors de Ca e Mg no solo, optou-se por tomar a relação de Ca e Mg resultante do total aplicado mais o teor encontrado no solo. Assim as relações resultantes da aplicação ficaram com 2, 85:1, 1:1 e 4:40:1 respectivamente.

O solo foi incubado por 30 dias com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP), conforme proposto por Freire et al. (1979) e

aferida diariamente por meio de pesagem, completando-se o peso com água deionizada.

Tabela 1 - Resultados analíticos do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).

Características	LVdf	Unidade
pH água	6,4	
Potássio (K)	16	mg dm ⁻³
Fósforo (P)	0,84	mg dm ⁻³
Cálcio (Ca)	0,58	cmol _c dm ⁻³
Magnésio (Mg)	0,03	cmol _c dm ⁻³
Alumínio (Al)	0,0	cmol _c dm ⁻³
Acidez Potencial (H + Al)	1,86	cmol _c dm ⁻³
Soma de Bases (SB)	0,65	cmol _c dm ⁻³
Capacidade Troca Catiônica efetiva (t)	0,65	cmol _c dm ⁻³
Capacidade Troca Catiônica (T)	2,51	cmol _c dm ⁻³
Saturação de Bases (V)	26	%
Matéria Orgânica (M. O.)	0,72	g kg ⁻¹
Fósforo remanescente (P-Rem)	1,37	mg L ⁻¹
Zinco (Zn)	0,08	mg dm ⁻³
Ferro (Fe)	12,45	mg dm ⁻³
Manganês (Mn)	2,26	mg dm ⁻³
Cobre (Cu)	1,18	mg dm ⁻³
Boro (B)	0,02	mg dm ⁻³
Enxofre (S)	7,85	mg dm ⁻³
Areia	170	g kg ⁻¹
Silte	240	g kg ⁻¹
Argila	590	g kg ⁻¹
Textura	Argilosa	

pH (água); Ca, Mg e Al (KCl 1mol L⁻¹); P, K, Fe, Zn, Mn e Cu (Mehlich 1); Acidez potencial (SMP); Matéria orgânica (Na₂Cr₂O₇ 4 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹) de acordo com metodologia de Silva (2009). Areia, silte e argila (Bouyoucos) modificada por Carvalho (1985).

Assementes de *Acrocarpus fraxinifolius* foram coletadas de árvores matrizes presentes no município de Lavras, MG. Colocou-se para germinar três sementes por vaso. Aos 30 dias após a semeadura foi realizado o desbaste deixando, uma planta. Durante a condução do experimento, foi realizado o controle de ácaros e pulgões, utilizando-se inseticida à base de avermectina.

As doses de K foram aplicadas no solo parcelada em três aplicações, sendo a primeira aplicada no plantio e as demais em intervalos de 30 dias.

Foram aplicados 300 mg dm^{-3} de P utilizando como fonte o monoamônio fosfato p.a., 30 mg dm^{-3} de S, com a fonte sulfato de amônio p.a., diretamente nos vasos em forma de solução. As adubações com N foram parceladas em três aplicações de 100 mg dm^{-3} na forma de nitrato de amônio p.a, totalizando 300 mg dm^{-3} de N. Aos 30 dias após a germinação foi realizada aplicação de uma solução com micronutrientes B (H_3BO_3 p.a.), na dose de 1 mg dm^{-3} de B; Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ p.a.) na dose de 2 mg dm^{-3} de Zn; Mn ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ p.a.) na dose de 8 mg dm^{-3} de Mn e Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ p.a.) na dose de $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$.

Aos 120 dias após a semeadura, foram realizados os levantamentos das seguintes características biométricas: altura da planta (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (caule + folhas) (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST). Calculou-se o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das plantas por meio da fórmula seguinte (Dickson, Leaf, and Hosner, 1960):

$$\text{IQD} = \text{MST} / ((\text{H}/\text{D}) + (\text{MSPA}/\text{MSR}))$$

Ao final do experimento, o material vegetal foi colhido, separado em parte aérea e radicular, lavadas em água corrente e água deionizada, armazenada em embalagem de papel, e posteriormente seco em estufa de circulação forçada de ar, com a temperatura de 65 °C até atingir peso constante (aproximadamente 72h) (Sorreano et al., 2011).

Após secagem, o material foi pesado em balança de precisão (0,01g) para a determinação da massa seca. Em seguida, o material oriundo da parte aérea da planta foi moído em moinho tipo Wiley e foram realizadas análises químicas para determinação dos teores de Ca, Mg e K, de acordo com a metodologia descrita por Silva (2009), no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. A partir dos resultados, calculou-se o acúmulo na parte aérea das plantas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ambos a 5% de probabilidade, e à regressão polinomial com uso do programa R (R Development Core Team, 2015). Para a normalização dos dados foi aplicada a equação $A = (x + 1)0,5$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento das plantas

A análise de variância mostrou que houve interação significativa ($p < 0,05$) entre as relações Ca: Mg e as doses de K para as variáveis altura da parte aérea (H), diâmetro de Colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD),

teor de nutrientes, acúmulos de magnésio (Mg) e de potássio (K). Em relação à massa seca raiz (MSR), teor e acúmulo de cálcio (Ca), não houve efeito significativo da interação Ca e Mg e as doses de K. Apenas verificou-se um efeito significativo no efeito principal para as doses de K ($p < 0.05$).

Quanto ao crescimento em altura (H) das plantas de *Acrocarpus fraxinifolius*, verificou-se que a mesma apresentou relação quadrática em função às doses de K na aplicação de corretivo na proporção Ca: Mg de 1:1 (2, 85:1 no solo) alcançando altura máxima de aproximadamente 40 cm com uma aplicação ótima de 78 mg dm^{-3} de K no solo. Esta correção foi a que alcançou a melhor resposta.

Como o solo em questão tem baixíssima a CTC os resultados da correção do solo podem ter uma resposta diferente do convencional pelo pequeno potencial de cargas. Assim optou-se pela interpretação dos resultados com base na relação resultante no solo. Assim, a aplicação de Ca: Mg 1:1 foi a relação mais equilibrada. Nessa aplicação elevou-se o teor de Ca de $0,58 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e o de Mg de $0,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ elevou-se para $0,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Dessa forma explica-se os maiores valores de altura de *Acrocarpus fraxinifolius* encontrados nesse tratamento onde com a aplicação do corretivo chegou-se a uma relação de Ca e Mg no solo de 2,85 :1.

Para a relação Ca: Mg de 1:3, o crescimento em altura apresentou relação linear com as doses de K, isto é, para cada mg dm^{-3} de K aplicado no solo obteve-se um crescimento que variou de 18 a 33 cm nas plantas. Isso pode ser explicado com aplicação de corretivo nesta relação Ca: Mg de 1:3 notas-se a resposta com as doses mais altas de K, entretanto com

valores abaixo dos encontrados na aplicação do corretivo de 1:1 mesmo ausência de K. Neste caso houve um excesso de relativo de $0,78 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg para o de $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca aplicado no solo a relação calculada ficou de 1,02: 1.

Para a relação 3:1, a aplicação de diferentes doses de K não teve nenhuma influência no crescimento médio da planta, sendo que as plantas apresentaram altura média de 23,47 cm. Esta relação 3:1 de Ca: Mg do corretivo elevou a proporção de Ca no solo para $1,24 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e $0,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg resultando em uma relação de Ca: Mg no solo de 4,40 :1. Neste caso não se obteve resposta para aplicações de K pois os corretivos altos de teor de Ca competem com os baixos teores de Mg no solo ficando as plantas limitadas pela falta de Mg e não respondendo as aplicações de K. (Figura 1A).

O efeito positivo de Ca e Mg sobre o crescimento em altura também foi observado em *Myracroduon urundeuva* (Barbosa et al., 1995), *Dalbergia nigra* (Bernardinho et al., 2007), *Apuleia leiocarpa* (Gomes et al., 2008), *Senna macranthera* (Souza et al., 2010).

Nos melhores tratamentos o valor máximo encontrado para a altura (30 a 40 cm) se enquadra no estabelecido por Gonçalves et al. (2005) para mudas de boa qualidade, que possuem entre 20 a 35 cm de altura.

No diâmetro do colo (DC) também se obteve resultado similar ao obtido na análise do crescimento das plantas. O corretivo aplicado na relação Ca: Mg de 2, 85:1 no solo, apresentou ajuste quadrático em função das doses crescentes de K, alcançando o seu valor máximo na dose de 100 mg dm^{-3} de K, que atingiu 5,71cm. Dessa forma explica-se os

maiores valores de diâmetro encontrados nesse tratamento onde com a aplicação de corretivos chegou-se a uma proporção de Ca: Mg no solo de 2,85 de Ca para 1 de Mg.

Quando se aplicou o corretivo na relação de Ca: Mg de 1:1 no solo, encontrou-se aumento linear em função das doses de K, variando de 2,3 a 4,50 cm, nota-se a resposta com mais altas de K, entretanto com valores abaixo dos encontrados na aplicação do corretivo 1:1 (2, 85:1 no solo), mesmo ausência de K. Percebe-se que neste caso houve um excesso relativo $0,78 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg e $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o Ca aplicado. No solo a relação calculada ficou de 1,02 de Ca para 1 de Mg. Na relação de Ca: Mg 3: 1 do corretivo elevou-se a proporção de Ca no solo para $1,24 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e $0,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg resultando em uma relação de Ca: Mg no solo de 4,40 de Ca para 1 de Mg. Neste caso não se obteve resposta para as aplicações de K, pois o alto teor de Ca aplicado competiu com os baixos teores de Mg do solo ficando as plantas limitadas pelas faltas de Mg e não respondendo as aplicações de K (Figura1 B).

Este trabalho apresentou resultados diferentes dos outros autores nas mudas de *Senna spectabilis*, *Schinus molle*, *Joannesia princeps*, *Tabebuia chysotricha*, *Platypodium elegans* e *Sapindus saponaria* (Mann et al., 1996), *Senna multijuga* e *Stenolobium stans* (Furtini Neto et al., 1999) e *Tabebuia impetiginosa* (Cruz et al., 2004).

Analisando-se os dados de massa seca da parte aérea (MSPA), nota-se o mesmo comportamento de altura e diâmetro de planta na relação Ca: Mg de 2,85:1 no solo. A curva de crescimento apresentou ajuste quadrático em função das doses crescentes de K, alcançando o seu valor máximo na dose de $86,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de K, que antigiou $10,6 \text{ g vaso}^{-1}$.

A relação Ca: Mg 1:3 aumentou linearmente em função das doses de K, variando de 1,95 a 8,60 g vaso⁻¹. Isso é explicado pela aplicação do corretivo nesta relação onde a resposta com doses mais altas de K apresentou valores abaixo dos encontrados na aplicação do corretivo 1:1, mesmo ausência de K, assim neste caso houve um excesso relativo de 0,78 cmol_c dm⁻³ de Mg para 0,8 cmol_c dm⁻³ de Ca aplicado no solo a relação calculada ficou de 1,02 de Ca para 1 de Mg. Na relação de Ca: Mg 3:1 do corretivo elevou-se a proporção de Ca no solo para 1,24 cmol_c dm⁻³ de Ca e 0,28 cmol_c dm⁻³ de Mg resultando em uma relação de Ca: Mg no solo de 4,40 para Ca para 1 de Mg. Neste caso não se obteve resposta para as aplicações de K, pois alto teor de Ca competiu com os baixos teores de Mg do solo ficando as plantas limitadas pela falta de Mg e não respondendo as aplicações de K (Figura 1C).

A MSPA tem sido considerada uma das melhores variáveis para caracterizar a qualidade de mudas é a característica que melhor reflete a produção (Gonçalves et al., 2008), tendo sido considerada uma das melhores para prever a qualidade de mudas, porém apresenta o inconveniente de sua determinação não ser viável em muitos viveiros, principalmente por ser destrutiva e necessitar de estufas (Gomes e Paiva, 2012).

Os mesmos resultados similares deste estudo foram observados nas mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Bernardino et al. 2005), *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Venturin et al., 2000), *Myracrodruon urundeuva* (Barbosa et al., 1995), onde verificou-se comportamento semelhante, tendo o tratamento CaCO₃ + Mg solúvel alcançado o melhor crescimento da MSPA.

Para índice de qualidade de Dickson (IQD) a relação no solo de Ca: Mg de 2, 85:1 apresentou ajuste quadrático em função das doses crescentes de K, alcançando o seu valor máximo na dose de 70,1 mg dm⁻³ de K, que corresponde ao valor de 3,95 foi equilibrado para o solo em estudo.

Este índice na relação de Ca: Mg no solo de 1,0 2:1 aumentou linearmente em função das doses de K, com os valores do índice variando de 1,1 a 3,50, chegando próximo aos maiores valores encontrados, todavia com crescimento de plantas menor. Na relação de Ca: Mg 4, 4:1 o índice de qualidade de Dickson foi de 2,0, o menor do estudo (Figura 1F). Quanto maior for o valor desse índice, melhor será o padrão de qualidade das mudas (Gomes e Paiva, 2012). Fonseca et al. (2002), estudando a qualidade de mudas de *Trema micrantha*, afirmam que o IQD é altamente correlacionado com todos os parâmetros morfológicos da planta. Respostas positivas à Ca: Mg têm sido registradas por diversos autores para espécies como *Handroanthus impetiginosus* (Cruz et al., 2004), com IQD máximo de 7,1 na saturação por bases estimada em 50%, *Acrocarpus fraxinifolius* com IQD de 7,56 em solução nutritiva completa (Mungambe et al., 2017) e para *Toona ciliata, Australis* (Braga et al., 2015) com media de 6,3 IQD na saturação por bases de 44%.

Para a massa seca total (MST) O corretivo aplicado na proporção de Ca: Mg de 2, 85:1 e 4, 4:1 apresentaram ajuste quadrático para as doses de K. Verificou-se na dose de 98 mg dm⁻³ de K um incremento de 17,25 g planta⁻¹ e com a dose de 96,6 mg dm⁻³ de K que alcançou 8,4 g planta⁻¹ isso devido a equilibrio de nutrientes no solo. A relação Ca Mg no solo de 1,0 2:1 aumentou linearmente em função das doses de K,

variando de 0,2 a 12,8 g planta⁻¹. Quando se corrigiu o solo para relação de Ca: Mg de 1,0 2:1 notou-se a resposta com doses mais altas de K, entretanto com valores abaixo dos encontrados na aplicação do corretivo de 2,85:1 (Figura 1 D).

A massa seca total constitui uma boa indicação da capacidade de resistência das mudas nas condições de campo, apesar de se tratar de um método destrutivo. Sendo assim, a avaliação da quantidade de massa seca produzida pelas mudas, bem como a maneira como ela está distribuída nos órgãos das plantas, torna-se fundamental na avaliação da eficiência e potencialidades de crescimento ao longo do seu ciclo (Gomes e Paiva, 2012).

Resultados semelhantes foram verificado por Sousa et al. (2010) e Silva et al. (2008), nas plantas de *Senna macranthera* e *Ceiba pentandra* na produção de matéria seca total com saturação por bases em torno de 70%.

A relação Ca: Mg massa seca de raiz (MSR), apresentou ajuste linear em função das doses crescentes de K para a onde alcançou valores que variam de 2,4 a 4,70 g planta⁻¹. Quando aplicou-se o corretivo na relação de Ca: Mg de 1: 3 notou-se a resposta com doses mais altas de K, entretantos com valores abaixo dos encontrados na aplicação do corretivo de 1:1 mesmo ausência de K, assim neste caso houve um excesso relativo de 0,78 cmol_c dm⁻³ de Mg para 0,8 cmol_c dm⁻³ de Ca aplicado no solo a relação calculada ficou de 1,02 de Ca para 1 de Mg (Figura 1 E).

O Ca e Mg é feita com o intuito de aumentar o pH do solo, a fim de promover uma maior saturação de bases e maior CTC (capacidade de

troca catiônica); dessa forma diminuindo a acidez potencial e aumentando a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana do solo, possibilitando assim um maior crescimento radicial e da parte aérea das plantas (Prado, 2003). Neste solo, como já mencionado a calagem supriu parte das deficiências de Mg desse solo, equilibrando com os teores de Ca no corretivo de relação 1:1.

Para outros autores, trabalhando com solos mais férteis a relação Ca Mg nas mudas, *Tabebuia impetiginosa* (Cruz et al., 2004), *Myracrodon urundeuva* (Barbosa et al., 1995), que verificaram a máxima produção de massa seca das raízes quando houve elevação da saturação por base 45,9 % no solo.

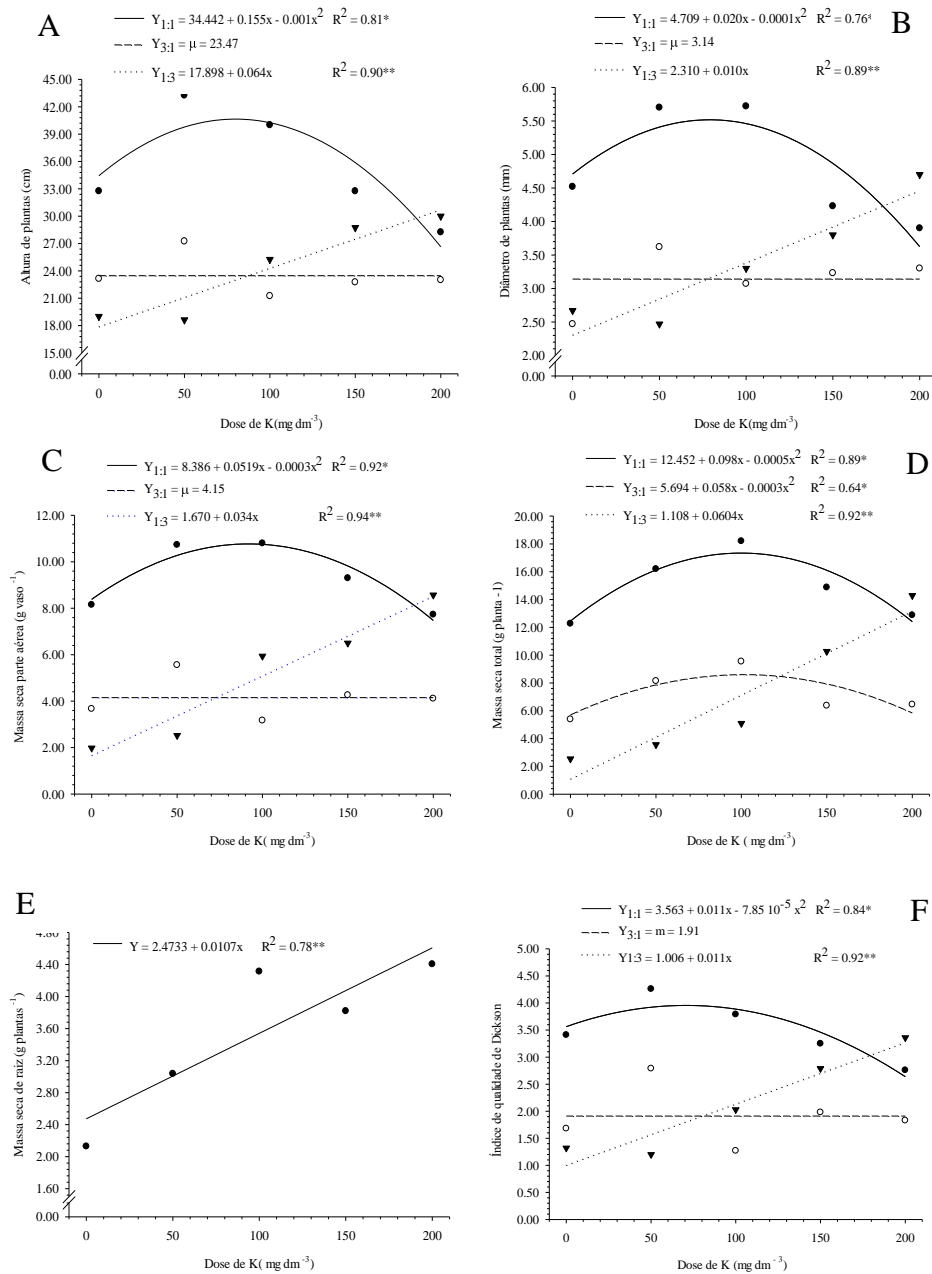


Figura 1: Altura da arte Aérea (A), Diâmetro de Colo (B), Massa Seca da Parte Aérea (C), Massa Seca Total (D), Massa Seca da Raiz (E), Índice Qualidade de Dickson (F), do Cedro Indiano submetido à dose de K. *: Significativo a 5% pelo teste F.

Teores foliares e acúmulos de Ca, Mg e K na parte aérea das plantas.

Os resultados da análise de variância mostram que houve efeito significativo na interação entre a relação de Ca e Mg e as diferentes doses de K aplicadas no solo. Para teor foliar de Ca, apenas os efeitos principais dos fatores do estudo apresentaram efeitos significativos ($p < 0.05$).

O teor foliar de Ca nas plantas de *Acrocarpus fraxinifolius* em função a relação de Ca: Mg, de 3:1 apresentou maior teor foliar de Ca, $14,50 \text{ g kg}^{-1}$ em relação às demais relações, sendo que a relação 1:3 foi a que apresentou menor teor foliar, $10,50 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 2A), demonstrando o desequilíbrio proporcionado por esses tratamentos tendo em vista o crescimento apresentado por essas plantas. Os teores foliares de $13,50 \text{ g kg}^{-1}$ encontrados no tratamento 1:1, deve estar próximo ao considerado ideal visto o bom desenvolvimento das plantas nesse tratamento.

Maiores valores de Ca e menores valores de Mg foliar são frequentemente observados em experimentos com espécies florestais quando a relação Ca: Mg é de 3:1 (Salvador et al., 2011; Marschner, 2012; Venturin et al., 2000; Prado, 2008).

Este mesmo comportamento foi observado no presente experimento, sendo explicado pela inibição competitiva entre esses nutrientes. Esse efeito tem consequência na prática de adubação, considerando-se que com a calagem, além de haver correção de pH do solo também aumenta-se concentração do Ca (Silva e Trevizam 2015).

As concentrações de Ca nos tecidos vegetais, necessários ao desenvolvimento vegetal satisfatório, variam de 1 a 80 g kg^{-1} na matéria

seca (Dechen e Nachtigall, 2007), sendo esse elemento essencial ao crescimento e ao funcionamento meristemático das plantas, o qual exerce funções estruturais e de manutenção da integridade de membranas citoplasmáticas (Marschner, 2012). Plantas deficientes em Ca expressam menor crescimento de raízes, senescência precoce de folhas (Dechen e Nachtigall, 2007) e morte de meristemas (Silveira et al., 2002).

A relação Ca: Mg de 1:1 do corretivo apresentou maior acúmulo de Ca, correspondendo a 44 mg planta⁻¹, enquanto que a relação 3:1 apresentou menor acúmulo desse nutriente na planta, 24 mg planta⁻¹ (Figura 2B), sendo proporcional ao crescimento dessas.

Observou-se que a relação Ca e Mg de 1:1 no corretivo aumentou o acúmulo de Ca, demonstrando que o *Acrocarpus fraxinifolius* neste solo respondeu à aplicação equilibrada desses nutrientes, indicando um efeito de correção de Mg nesse solo. Tal fato pode ser confirmado em função da produção de MST e do teor foliar de Ca e Mg, as quais apresentaram valores elevados (Figura 1D).

O teor foliar de Mg do *Acrocarpus fraxinifolius* nas relações Ca: Mg de 1:1 e 1:3 apresentaram ajuste linear em função das doses crescentes de K, tendo variado de 2,63 a 3,20 g kg⁻¹ e 3,0 a 3,60 g kg⁻¹, respectivamente. A relação 3:1 apresentou ajuste quadrático em função das doses decrescentes de K, alcançando o seu valor máximo na dose de 114 mg dm⁻³ deste nutriente no solo, que corresponde a 2,36 g kg⁻¹ de nutrientes nas plantas (Figura 2C).

Os resultados obtidos neste estudo, na relação Ca: Mg do solo de 4, 40:1 pode ser explicado pelo conceito da inibição competitiva, onde pode-se observar diminuição no teor foliar de Mg com o aumento das

doses de K, além dos baixos teores de Mg desse solo. Resultados semelhantes foram verificados por Salvador et al. (2011), Büll e Nakagawa (1995), avaliando o aumento da relação Ca e Mg no solo, mostraram que foi gerado aumento do teor de K e Ca e diminuição de Mg da parte aérea. Contudo, a absorção de K pelas plantas pode ser inibida quando há elevada disponibilidade de cátions como o Ca e Mg na solução do solo (Marschner, 2012), os quais competem com o K pelos sítios celulares de absorção (Foloni e Rosolem, 2008).

A concentração de Mg no tecido vegetal varia de 1 a 10 g kg⁻¹ de matéria seca (Dechen & Nachtigall, 2007). Dentre as funções desse nutriente, destacam-se a de compor a molécula da clorofila e a ativação de enzimas, na síntese de proteínas, além de estimular a absorção, o transporte e a distribuição de outros nutrientes nas plantas (Marschner, 2012). Quando os teores de Mg são adequados, as plantas elevam sua taxa fotossintética, síntese proteica, absorção e distribuição de outros nutrientes e, conseqüentemente, o aumento do crescimento vegetal.

O acúmulo de Mg do *Acrocarpus fraxinifolius* na relação Ca: Mg de 1,02:1 apresentou ajuste linear em função das doses crescentes de K, tendo variado de 0,5 a 30 mg planta⁻¹. A relação 2,85:1 apresentou ajuste quadrático em função das doses crescentes de K, alcançando o seu valor máximo na dose de 97 mg dm⁻³ deste nutriente no solo, que corresponde a 31,38 mg planta⁻¹. Para a relação 4,4:1, a aplicação de diferentes doses de K não teve nenhuma influência no crescimento médio da planta, sendo que as plantas apresentaram acúmulo média de 10,24 mg planta⁻¹ (Figura 2D).

O maior acúmulo de Mg foi observado na relação Ca: Mg de 2, 85:1, sendo assim esta relação para as plantas do Cedro indiano a mais adequada para o balanço nutricional do Ca, Mg e K, respondendo de forma positivamente à aplicação desses nutrientes. O acúmulo de nutriente no tecido vegetal tem uma relação direta com a produção de MST pela planta, onde a maior produção de MST favorece ao maior acúmulo de nutriente no tecido vegetal (Figura 1D).

O teor foliar de K do *Acrocarpus fraxinifolius* na relação Ca: Mg de 4, 4:1 apresentou ajuste linear em função das doses crescentes de K, tendo variado de 5,6 a 6,0 g kg⁻¹ deste nutriente nas plantas. A relação 2, 85:1 apresentou ajuste quadrático em função das doses decrescentes de K, alcançando o seu valor máximo na dose de 182 mg dm⁻³ deste nutriente no solo, que corresponde a 5,29 g kg⁻¹ nas plantas. A relação 1, 02:1 apresentou ajuste linear em função das doses decrescentes de K, tendo variado de 6,4 a 4,8 g kg⁻¹ deste nutriente nas plantas (Figura 2E).

Este resultado, certamente, se deve a maior disponibilidade de K nos solos. Alguns estudos (Silva et al., 1996; Silva et al., 2002) também observaram redução na eficiência de uso K por plantas de eucalipto, quando há aumento na disponibilidade deste nutriente no solo.

Os teores de K adequados ao desenvolvimento vegetal variam de 6 a 50 g kg⁻¹ de matéria seca (Dechen e Nachtigall, 2007), sendo esse nutriente responsável pela ativação enzimática, síntese de proteínas, abertura e fechamento de estômatos, osmorregulação, transportes via floema, absorção e balanço catiônico (Marschner, 2012). Quando não há restrições na disponibilidade de K na solução do solo, as plantas expressam maiores taxas fotossintéticas, elevam o controle sobre as

perdas de água e a resistência ao ataque de pragas e doenças, o K exerce funções essenciais em inúmeros processos metabólicos atuando no controle osmótico das células (Mendes et al., 2013; Dechen e Nachtigall, 2007).

Para o acúmulo de K nas plantas, apenas o efeito principal das doses de K apresentou efeito significativo. Deste modo, verificou-se uma relação quadrática entre o acúmulo de K e as doses desse nutriente, cuja aplicação condicionou ao aumento no acúmulo do K, atingindo um valor máximo de 168 mg dm^{-3} deste nutriente no solo de 38 g kg^{-1} que corresponde a $5,29 \text{ g kg}^{-1}$ deste nutriente nas plantas (Figura 2F).

O acúmulo de K na parte aérea das plantas aumento com os incrementos das doses, evidenciando que o K presente na solução do solo foi intensamente absorvido pelas plantas. Pode ser justificada em função da produção de MST e do teor foliar deste nutriente (Figura 1D).

A eficiência de uso de nutrientes pelas plantas depende da produção de MST e do teor do nutriente no tecido vegetal, conforme, também, observado por Pinto et al. (2011) e por Lima et al. (2005).

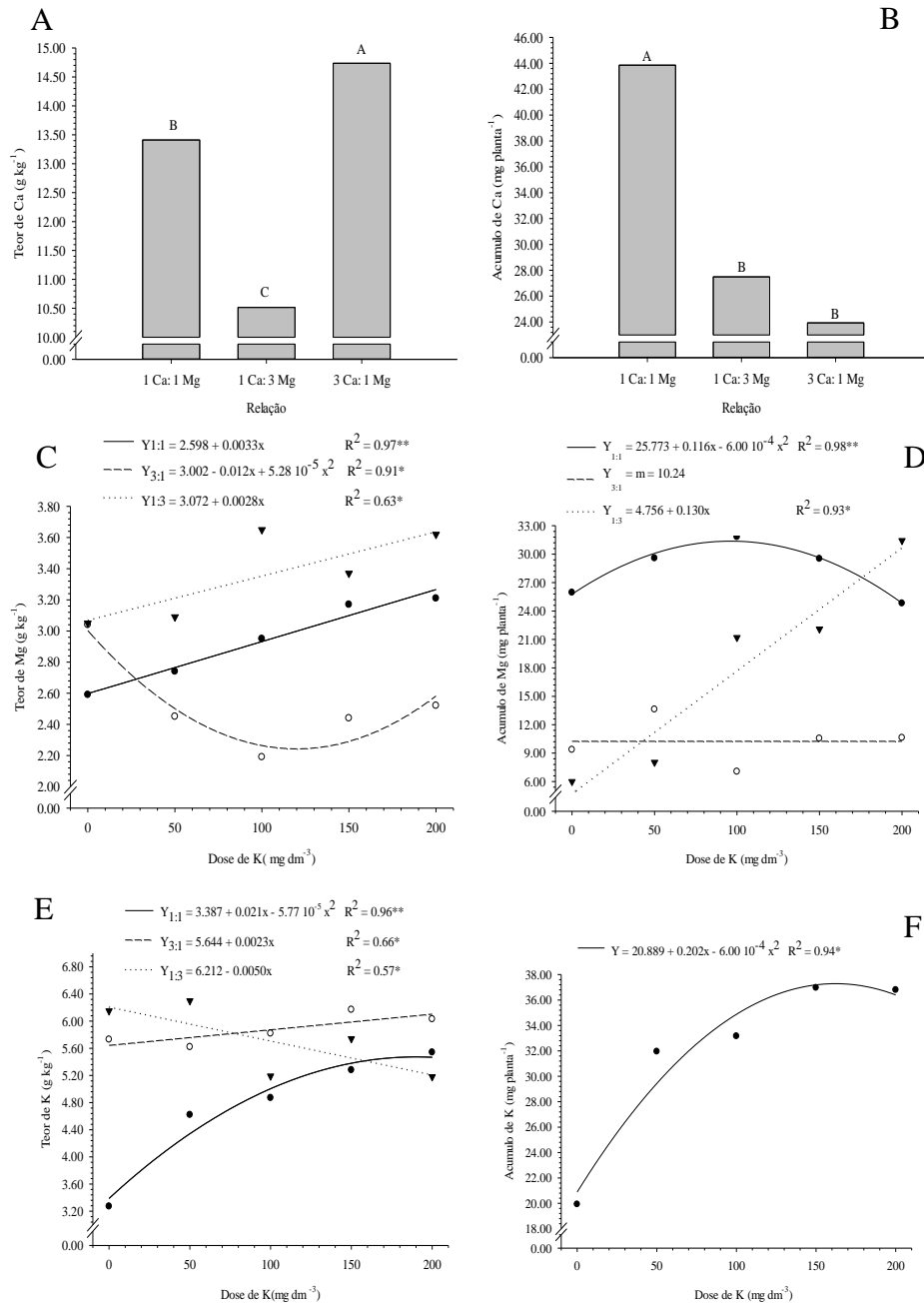


Figura 2: Teor de Ca (A), Acúmulo de Ca (B), Teor de Mg (C), Acúmulo de Mg (D), Teor de K (E), Acúmulo de K (F), no *Acrocarpus fraxinifolius* submetido à dose de K. *: Significativo a 5% pelo teste F

CONCLUSÕES

O *Acrocarpus fraxinifolius* não se desenvolve bem em solos com a relação de Ca: Mg desbalanceada.

O maior crescimento e produção de matéria seca, teor e acúmulo de Ca, Mg e K na parte aérea das plantas foram obtidos quando aplicada doses de K no solo entre 70 - 100 mg dm⁻³;

Em solos pobres a relação Ca: Mg no solo deve estar próxima da relação 3:1.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Z. et al. Crescimento e composição química foliar de mudas de aroeira (*Myracrodon urudeuva* Fr.All. Eng) sob diferentes saturações por bases. II teor foliar de micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa, MG. Anais... Viçosa: SBCS/UFV, 1995. v. 2. p. 809-810.

BERNARDINO, D.C.S. et al. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 863-870, 2005.

BERNARDINO, D.C.S. et al. Influência da saturação por bases e da relação Ca:Mg do substrato sobre o crescimento inicial de jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 567-473, 2007.

BRAGA, M.M.; FURTINI NETO, A.E.; OLIVEIRA, A.H. Influência da saturação por bases na qualidade e crescimento de mudas de cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, jan. Mar., 2015.

BÜLL, L.T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de

relações cálcio: magnésio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 409-415, 1995.

CARVALHO, M.A. de. **Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solos com horizontes B latossólico e B textural**. 1985. 79 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e uso da Terra)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CRUZ, C.A.F.; PAIVA, H.N.; GOMES, K.C.O.; GUERRERO, C.R.A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.66, p.100-107, 2004.

DANTAS, A.A.A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, V. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p. 92-132.

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.

DONAGEMMA, G.K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

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

ERAUSQUIM, O. G. El Cedro Rosado de la India. Disponível em: <<http://paulowniasperuanas.lacocotelera.net/post/2006/03/19/el-cedro-rosado-la-india>>. Acesso em: 3 jul. 2012.

FOLONI, J.S.S.; ROSOLEM, C.A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1549-1561, 2008.

FONSECA, E.P.; VALÉRI, S.V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, V.26, n.4, p.515-523, 2002.

FREIRIA, A.C.; MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; YAGI, R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum Agronomy**, V.30, n.2, p.285-291, 2008.

FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; MOVAIS, R.F. Métodos de aplicação de adubos na formação de mudas de *Eucalyptus grandis* F. Hill ex Maiden. **Silvicultura**, São Paulo, V. 14, p. 385 - 386, 1979.

FURTINI NETO, A.E. et al. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas na fase de mudas. **Cerne**, Lavras, V. 5, n. 2, p.1-12, 1999.

GOMES, et al. Crescimento de mudas de garapa em resposta à calagem e ao fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, V. 32, n. 3, p. 387-394, 2008.

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 116 p.

GONÇALVES, E.O. et al. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. **Revista Árvore**, Viçosa, V. 32, n. 6, p. 1029-1040, 2008.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L.

M.; BENEDETI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 309-350

GUIMARÃES JÚNIOR, M. P. A.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, A. S.; OLIVEIRA, L. B. T.; RODRIGUES, M. O. D.; MARTINS, A. D. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as características agronômicas de plantas forrageiras. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, Salvador, V.14, n.3, p.460-471 jul./set., 2013.

LIMA, A.M.N.; NEVES, J.C.L.; SILVA, I.R. & LEITE F.P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de k^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, V. 29, p. 903-909, 2005.

MANN, E. N. et al. Calagem e crescimento de espécies florestais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., Manaus, 1996. **Anais...** Manaus: SBCS, 1996. p. 240-241.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. Melbourne: Elsevier, 2012. 651 p.

MENDES, H.S.J.; PAULA, N.F.; SCARPINATTI, E.A.; PAULA, R.C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**, Lavras, V.19, n.4, p.603-611, 2013.

MUNGUAMBE, J. F.; VENTURIN, N.; SILVA, M. L. S.; CARLOS, L.; SILVA, D. S. N.; FARIAS, E. S.; MELO, L. A.; MACEDO, R. L. G.; COME, M. J. Effect of deprivation of selected single nutrients on biometric parameters of cedar seedlings (*Acrocarpus fraxinifolius*) grown in nutritive solution. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, p. 2886-2894, 2017.

PINTO, S. I. C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 523-533, 2011.

PRADO, R.M. **Efeito da calagem no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de frutos da goiabeira e da caramboleira.** 2003. 68f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas.** São Paulo: Editora Unesp, 2008.407p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM - RDCT. R: **A language and environment statistical computing.** Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RAIJ, B.Van., **Fertilidade do Solo e Adubação, Piracicaba:** Ceres, Potafos, 1991. p. 343.

SALVADOR, J.T.; CARVALHO, T.C.; LUCCHESI, L.A.C. relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient.,** Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2011

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 366 p.

SILVA, A. R. M.; TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N; SOUZA, P. A.; NELSON VENTURIN, N.. Efeitos de doses crescentes de calcário na produção de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* L. Gaertn). **Floresta,** Curitiba, v. 38, n. 2, abr./jun., 2008.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, I.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; CURI, N. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, V. 20, n. 2, p.257-264, 1996.

SILVA, M.L.S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações Agronômicas,** nº 149 – março/2015, p. 10-16.

SILVA, P. M. C; UCHÔA, S. C. P; BARBOSA, J. B. F; BASTOS, V. J. ALVES, J. M. A, FARIAS, L. C. Efeito do potássio e do calcário na qualidade de mudas de cedro doce (*Bombacopsis quinata*). **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 1, p. 63-69, 2013.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciado pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V. 26, n. 4, p. 1001-1010, 2002.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 108-117, 2002.

SORREANO, M.C.M.; MALAVOLTA, E.; SILVA, D.H.; CABRAL, C.P., RODRIGUES, R.R. Deficiência de macronutrientes em mudas de sangra d'água (*Croton urucurana* Baill.). **Cerne**, Lavras, V.17, p.347-352, 2011

SOUZA, P.H. et al. Crescimento e qualidade de mudas de *Senna macranthera* (COLLAD.) IRWIN ET BARN. Em resposta à calagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 233-240, 2010.

VENTURIN, R. P.; BASTOS, A. R. R.; MENDONÇA, A. V. R; CARVALHO, J. G. Efeito da relação Ca:Mg do corretivo no desenvolvimento e nutrição mineral de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 030-039, 2000.

ARTIGO 4 - ADUBAÇÃO DE *Acrocarpus fraxinifolius* EM CAMPO

Artigo formatado de acordo com as Normas da **Revista *Scientia Forestalis***.
prepared for **Revista *Scientia Forestalis*.

(VERSÃO PRELIMINAR)

ADUBAÇÃO DE *Acrocarpus fraxinifolius* EM CAMPO**FERTILIZATION OF *Acrocarpus fraxinifolius* IN THE FIELD****RESUMO**

Este trabalho foi realizado com objetivo de avaliar o crescimento inicial de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight e Arn em campo sob diferentes doses de fosforo (P) e nitrogênio(N). Foram instalados dois experimentos com doses de P e N em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas no tempo de seis, 12, 18 e 24 meses após o plantio. O trabalho consistiu de experimento 1: com cinco doses de P (0, 20, 40, 80 e 160 cova^{-1}), utilizando como fonte o superfosfato triplo, quatro repetições e seis plantas por parcela e o experimento 2: com cinco doses de N (0, 25, 50, 100 e 200 g cova^{-1}), utilizando como fonte a ureia, dividindo a dose em três aplicação no plantio, 30 e 60 dias, em quatro repetições e seis plantas por parcela. As mudas foram plantadas em espaçamento de 3 x 2 m. Foram realizadas avaliações da altura, diâmetro do coleto e volume. As avaliações foram realizadas aos seis, 12, 18 e 24 meses após plantio. Foi feita a análise de variância e regressão polinomial entre dosagens e as variáveis dos dados coletados. As plantas de *Acrocarpus fraxinifolius* respondem a adubação nitrogenada e fosfatada. Recomenda-se a aplicação de P na faixa entre 90 a 100 g cova^{-1} e de N na faixa entre 70 a 120 g cova^{-1} .

Palavras-chave: Fertilização, Nutrição Florestal, Crescimento.

ABSTRACT

This work was carried out to evaluate the initial growth in the field of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight e Arn under different doses of phosphorus (P) and nitrogen (N). Two experiments were carried out with P and N doses in a randomized complete block design in plots subdivided at six, 12, 18 and 24 months after planting, the work consisted of experiment 1: with five doses of P (0, 20, 40, 80 and 160 g per pit), using triple superphosphate applied in the pits in four replicates and six plants per plot, experiment 2: with five doses of N (0, 25, 50, 100 and 200 g per pit), using as source urea dividing the dose into three applications in the planting, 30 and 60 days, in four replicates and six plants per plot. The seedlings were plants in a 3 x 2 m spacing. Soil height assessments were applied to the apical yolk, stem diameter calculated at the height of the

soil, footing was performed and volume per hectare was calculated by. The evaluations were carried out at six, 12, 18 and 24 months after planting. The analysis of variance and polynomial regression between dosages and the variables of the collected data were made. The *Acrocarpus fraxinifolius* plants respond to nitrogen and phosphatic fertilization. The application of P in the range of 90 to 100 g of cova⁻¹ and of N in the range of 70 to 120 g of cova⁻¹ is recommended.

Keywords: Fertilization, Forest nutrition, Growth.

INTRODUÇÃO

A elevada demanda por produtos florestais faz com que haja uma busca constante por novas técnicas silviculturais visando aumentar a produtividade das florestas. Os reflorestamentos deram início, então, a uma alternativa bastante viável de suprir a falta de madeira no mercado.

O *Acrocarpus fraxinifolius* Wight e Arn pertence à família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae, é popularmente conhecido como Cedro indiano, guijarra, lazcar ou mundane (MARTÍNEZ et al., 2006), produz madeira dura, de cerne avermelhado, utilizada em construção, mobiliário e produção de celulose (FIRMINO et al., 2015). Nativo das regiões de alta pluviosidade da Ásia, o cedro indiano apresenta rápido crescimento, sendo muito promissora para reflorestamentos, e utilizada para a produção de madeira de curta rotação (TRIANOSKI et al., 2011).

Para obter-se um povoamento florestal que produza matéria prima com qualidade satisfatória para o uso industrial, torna-se de extrema importância o conhecimento acerca das espécies a serem cultivadas. Um passo inicial para que se consiga desenvolver as espécies florestais é conhecer suas necessidades nutricionais, bem como os seus níveis de adaptação em solos com diferentes características de fertilidade, além da utilização precisa de práticas silviculturais e de manejo.

A fertilização e a calagem visam manter o equilíbrio nutricional das plantas ao longo de seu desenvolvimento. Dessa forma, a recomendação para a correção ou manutenção da fertilidade do solo exige conhecimento tanto das exigências nutricionais da planta quanto do potencial produtivo do solo, sempre considerando suas características químicas, físicas e biológicas. Esses aspectos concorrem para uma maior eficiência do fertilizante aplicado e, conseqüentemente, para um melhor rendimento das espécies florestais.

Recomendações de adubação devem ser definidas, em nível regional, para as espécies e tipos de solo mais representativos, envolvendo experimentação de campo, que devem ter por objetivo estabelecer classes de fertilidade do solo e de resposta às fertilizações

(GONÇALVES et al., 1995). As características e a quantidade de fertilizantes a serem aplicados dependerão das necessidades nutricionais da espécie utilizada, da fertilidade do solo, da forma de reação dos fertilizantes e de fatores de ordem econômica (GONÇALVES et al., 1995).

Em síntese, uma recomendação adequada calagem e adubação são, portanto, um assunto complexo que exige experiência e conhecimento na área de engenharia florestal, devendo considerar-se vários aspectos além da simples complementação de nutrientes. Esse trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento inicial em campo de *Acrocarpus fraxinifolius* campo sob diferentes doses de P e N.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados dois experimentos na Fazenda Muquém da Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras, Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas geográficas 21°12'13''S e 44°59'10''W, em janeiro de 2013 num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico – LVAd, sendo avaliado por 24 meses (SILVA; SANTOS; MARQUES, 2014). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cwb

(ALVARES et. al. 2013). A precipitação local média é de 1530 mm anuais, temperatura média anual de 19,4°C e a umidade relativa média anual de 76,2% (BRASIL, 1992; DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

As sementes de *Acrocarpus fraxinifolius* foram coletadas de duas matrizes encontradas no Campus da Universidade Federal de Lavras. Posteriormente, foram beneficiadas e escarificadas no Laboratório de Sementes Florestais do Departamento de Ciências Florestais (UFLA). As sementes foram colocadas para germinar em tubetes de 100 cm³. O substrato utilizado foi Bioplant com as características: pH 5,8; densidade 280 g.L⁻¹; umidade 55%. A adubação de cobertura seguiu recomendação de Gonçalves et al. (2005) e consistiu de 200g de N e 150g de K₂O dissolvidos em 100L de água, volume suficiente para 10000 mudas. Essa adubação foi realizada semanalmente, sendo que o potássio era aplicado intercalado entre as semanas. O tempo de formação das mudas foi de 120 dias. Foram levadas ao campo com altura de aproximadamente 20 cm, e diâmetro do coleto médio de 9,7 mm, conforme recomendação de (DAVIDE e SILVA 2008).

Para caracterização química e física do solo, foi coletada amostra na profundidade de 0 a 20 cm e analisados no Laboratório de Fertilidade do Solo na Universidade Federal de Lavras, seguindo metodologia de Donagema et al. (2011) e Silva (2009). De acordo com os resultados da análise (Tabela 1), foram definidas as práticas adotadas e as doses dos demais fertilizantes para a implantação.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo antes do plantio de Cedro Indiano, (*Acrocarpus fraxinifolius*) no Município de Lavras, MG.

Table 1. Soil chemical and physical characteristics before planting of Indian Cedar, (*Acrocarpus fraxinifolius*) in Lavras Municipality, MG.

Atributos	LVAd ¹
pH (H ₂ O)	5,1
P (mg/dm ³)	0,6
K (mg/dm ³)	68,6
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	1,1
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	0,5
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	0,3
H + Al (cmol _c /dm ³)	5,64

SB (cmolc/dm ³)	1,8
t (cmolc/dm ³)	2,1
T (cmolc/dm ³)	7,42
V (%)	23,9
m (%)	14,4
C orgânico (g/kg)	27
P-rem (mg/L)	4,9
Zn (mg/dm ³)	18,0
Fe (mg/dm ³)	127,4
Mn (mg/dm ³)	7,6
Cu (mg/dm ³)	1,9
B (mg/dm ³)	0,2
	-
Areia (g/kg)	330
Silte (g/kg)	80
Argila (g/kg)	590

¹ Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, pH (água); Ca, Mg e Al (KCl 1mol L⁻¹); P, K, Fe, Zn, Mn e Cu (Mehlich 1); Acidez potencial (SMP); Matéria orgânica (Na₂Cr₂O₇ 4 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹) de acordo com metodologia de (SILVA, 2009). Areia, silte e argila (Bouyoucos) modificado por (CARVALHO, 1985).

Na área experimental foi realizada calagem em área total utilizando-se calcário dolomítico para elevação da saturação por bases a 60%, sendo o calcário incorporado na camada de 0-20 cm de profundidade e, logo após, foram feitos os sulcos para demarcar o plantio.

Foi feita adubação básica, excetuando-se os nutrientes avaliados em cada experimento. Seguiu as recomendações adaptadas de Gonçalves (1995) aplicando-se: 50 g de uréia, 40 g de P_2O_5 , 50 g de KCl, e 1 g de B, 1g de Zn, 0,5g de Cu e 0,1g de Mo por cova. O P foi aplicado na cova, N e K foram aplicados em três parcelas, plantio, 30 e 60 dias após o plantio. Os micronutrientes foram aplicados junto com a primeira cobertura, N e K. As mudas foram plantadas em janeiro de 2013 em espaçamento de 3 x 2 m.

Os dois experimentos consistiram em cinco doses, de P e N, montados em delineamento experimental de blocos casualizados num esquema de parcelas subdivididas no tempo aos seis, 12, 18 e 24 meses após o plantio, quatro repetições e seis plantas por parcela. As doses de P foram de 0, 20, 40, 80 e 160 g cova⁻¹, utilizando como fonte Superfosfato triplo aplicado todo no plantio. As doses de N foram 0, 25, 50, 100 e 200 gcova⁻¹, utilizando como fonte a Ureia, sendo essas doses parceladas em três aplicações no plantio, 30 e 60 dias após plantio.

Para avaliar o crescimento das plantas de *Acrocarpus fraxinifolius* foram realizadas avaliações das seguintes variáveis biométricas: altura total do nível do solo até a gema apical, utilizando um hipsômetro,

diâmetro do coleto medido no nível do solo; utilizando paquímetro digital, diâmetro à altura do peito utilizando uma suta e volume utilizando o fator de forma para o gênero *Eucalyptus* (GONÇALVES et al.; 2010; MIGUEL et al.; 2010; MIRANDA et al.; 2015).

A utilização de um fator de forma estimado para outro gênero ocorreu por três motivos: 1º) ausência na literatura de um fator de forma estimado para a espécie nas condições do presente experimento; 2º) semelhança em ritmo de crescimento e forma de fuste entre as espécies e 3º) impossibilidade de realização de cubagem rigorosa devido a um incêndio ocorrido em fevereiro de 2015, o qual consumiu todo o plantio. As avaliações foram realizadas aos seis, 12, 18 e 24 meses após plantio.

Os resultados foram aferidos quanto à presença de “outliers”, normalidade (Shapiro-Wilk, $\alpha = 0,05$) e homogeneidade de variância. Quando necessário, foram realizadas transformação dos dados segundo método da potência ótima de Box-Cox. Foi feita a análise de variância e regressão polinomial entre dosagens e as variáveis dos dados coletados com o programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância para altura de plantas, diâmetro e volume da madeira no estudo da avaliação da aplicação de diferentes doses de P e N na espécie de *Acrocarpus fraxinifolius* se encontram na (Tabela 2). Para o experimento do N houve interação significativa entre os períodos de avaliação e as doses de N aplicadas no solo ($p < 0,05$) para a altura de plantas e o volume da madeira. Na análise do diâmetro das plantas apenas houve efeito significativo para as épocas de avaliação. No caso do experimento com as doses de P a interação foi significativa para o diâmetro e volume da madeira. A análise da altura de plantas nesse experimento apenas mostrou efeito significativo nos efeitos principais dos fatores analisados.

Os valores dos coeficientes de variação encontram-se dentro dos limites aceitáveis o que pressupõe uma boa precisão e confiabilidade dos dados do experimento (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para altura (m), diâmetro do caule (cm) e volume por hectare (m³) de Cedro indiano (*Acrocarpus fraxinifolius*) aos seis, 12, 18 e 24 meses em função de doses de N e P.

Table 2. Summary of Analysis of variance for height (m), stem diameter (cm) and volume per hectare (m³) of Indian Cedar (*Acrocarpus fraxinifolius*) at six, 12, 18 and 24 months as a function of doses of N and P.

Fonte de Variação	N			P		
	H (m)	D (cm)	V (m ³)	H (m)	D (cm)	V (m ³)
Doses (D)	0,556*	0,417ns	14,47ns	1,150 *	1,741*	52,77*
Bloco	0,797 *	0,701*	20,66*	0,533ns	0,467ns	25,78ns
Resíduo A	0,11	0,159	4,65	0,208	0,278	10,26
Tempo (T)	144,1 *	170,76*	2179,1*	166,108*	184,058*	2705,73*
D x T	0,356*	0,181 ns	11,32*	0,162 ns	0,359*	23,80*
Resíduo B	0,115	0,112	5,34	0,109	0,125	7,67
CV 1 ^a	8,866	11,906	29,677	11,305	15,17	38,103
CV 2 ^b	9,075	9,987	31,811	8,17	10,162	32,931

* Significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F. H - altura total; D - diâmetro; V - volume; CV 1 - coeficiente de variação; CV 2 - coeficiente de variação.

DOSES DE FÓSFORO

Na análise da altura das plantas não houve interação significativa entre os fatores de estudo, apenas houve evidência significativa para o efeito principal dos períodos de avaliação. Deste modo, a relação entre a altura das plantas e o período de avaliação foi descrita com base no modelo $Y = 3,6359 + 0,0168x - 0,00008384x^2$. O modelo quadrático ajustado apresentou um poder explicativo de 96% (R^2), em função das doses crescentes de P, alcançando o seu valor máximo na dose de 100 g de P_2O_5 por cova que corresponde a um aumento em altura de 4,49 m no período de 24 meses (FIGURA 1).

A altura das plantas com aplicação do P aumentou linearmente em função do tempo de avaliação, variando de 0 a 8 m (FIGURA 1).

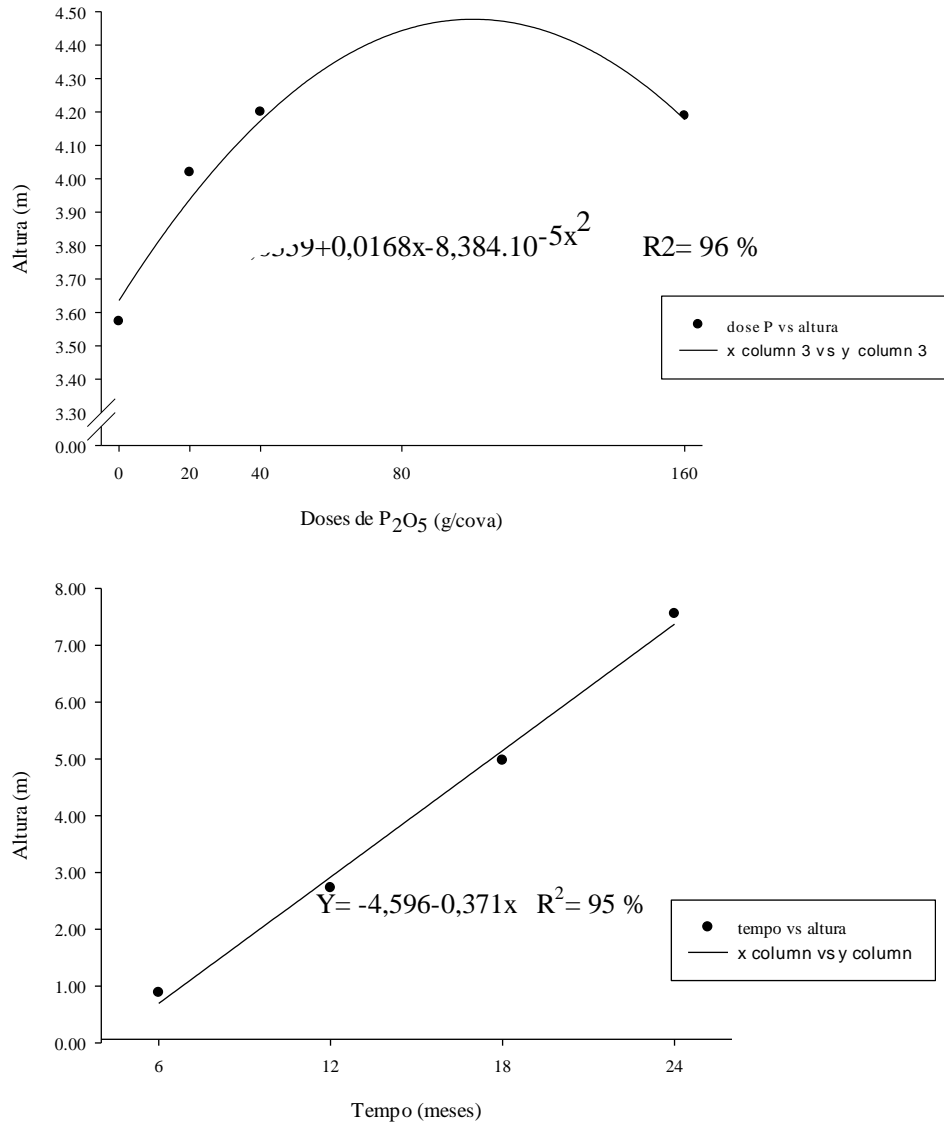


FIGURA 1. Altura das plantas de *Acrocarpus fraxinifolius*, em função do tempo, após aplicação de doses de P₂O₅ no solo.

Carlos (2013) estudando o crescimento inicial de *Dalbergia nigra* a maior média de altura estimada foi obtida na dose de 39,5 g de P, com valores de 1,06 metros aos seis meses após o plantio. Aos doze meses a maior altura média foi 1,66 metros na dose 44 g por cova de P.O P promove crescimento em altura de essências florestais, sendo que os maiores valores foram observados após aplicação de 450 mg dm⁻³ para espécie *Parapiptadenia rígida* (SCHUMACHER et al., 2004), 360 mg kg⁻¹ para mudas de *Luehea divaricata* (CECONI et al., 2006), 400 mg dm⁻³ para mudas de *Acacia mangium* (DANIEL et al., 1997), 360 mg kg⁻¹ para mudas de *Mimosa scabrella* (VOGEL et al., 2001) e 447,5 mg kg⁻¹ para mudas de *Ilex paraguariensis* (SANTIN et al., 2008)

A relação entre o diâmetro das plantas de Cedro Indiano sob aplicação de doses de P avaliadas aos seis, 12, 18 e 24 meses após a plantio foi descrita segundo o modelo de superfície de resposta dado pela equação $Y = -1,0168 + 0,0200x + 0,1266y - 0,0001x^2 + 0,0080y^2$.² O modelo possui um poder explanatório de cerca de 95%, isto é, 95% da variabilidade que ocorre com crescimento do diâmetro das plantas pode ser explicada pela quantidade de doses P aplicada no solo e pelo período de tempo. O ajuste quadrático em função das doses de P, alcançaram o

valor máximo na dose de 100 g por cova de P, antigiu um de diâmetro das plantas em 7,6 cm verificado para o período entre seis e 24 meses após a plantio no campo (FIGURA 2). Carlos (2013), estudando o crescimento inicial de *Dalbergia nigra*, encontraram o maior diâmetro aos seis meses após o plantio (1,78 cm) para a dose de 47,75 g por cova de P. Aos doze meses a média estimada para o maior diâmetro foi 3,14 cm para a dose 47,8 g de P. O P promove maior crescimento em diâmetro, sendo que os maiores valores foram observados após a aplicação de 450 mg dm⁻³ para mudas de *Parapiptadenia rígida* (SCHUMACHER et al., 2004), 360 mg kg⁻¹ para mudas de *Luehea divaricata* (CECONI et al., 2006) , 400 mg dm⁻³ para mudas de *Acacia mangium* (DANIEL et al., 1997) , 360 mg kg⁻¹ para mudas de *Mimosa scabrella* (VOGEL et al., 2001), 447,5 mg kg⁻¹ e 600 mg dm⁻³ para mudas de *Ilex paraguariensis* e *Cassia grandis* (SANTIN et al., 2008).

$$Y = -1,0168 + 0,0200x + 0,1260y - 0,0001x^2 + 0,0080y^2 \quad R^2 = 95\%$$

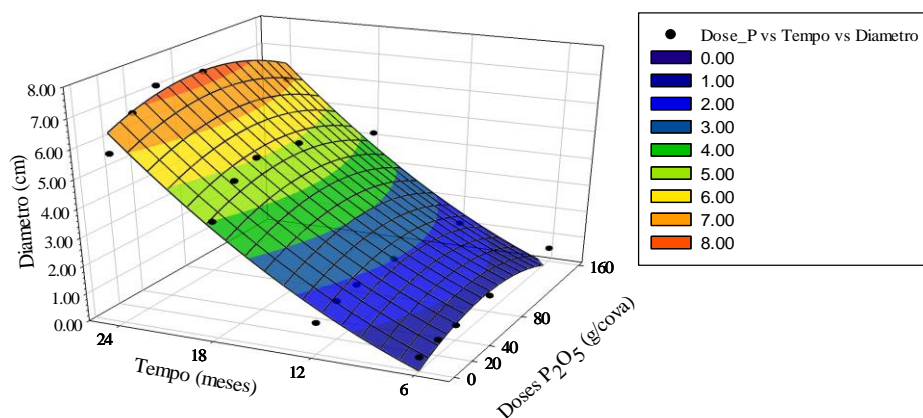


FIGURA 2. Diâmetro de plantas de *Acrocarpus fraxinifolius*, em função do tempo, após aplicação de doses de P₂O₅ no solo.

A análise do volume de madeira das plantas mostrou evidência de interação significativa entre os fatores de estudo em análise. Desta forma a relação entre o volume da madeira e as doses de P estudadas conjuntamente com os períodos de avaliação é descrita segundo a superfície de resposta definida com base na equação $Y = 5,7392 + 0,0934x - 1,9536y - 0,0005x^2 + 0,1094y^2$. Este modelo é responsável em explicar a variabilidade que ocorre no volume das plantas em aproximadamente 95%.

De forma geral a análise do volume da madeira apresentou ajuste quadrático em função das doses crescentes de P, alcançando o seu valor máximo na dose de 93 g por cova de P, correspondendo à produção volumétrica de madeira de 26,22 m³ ha⁻¹ ao final dos 24 meses após plantio (FIGURA 3). Carlos (2013), mensurando o crescimento volumétrico de jacarandá da Bahia após fornecimento de P, obteve 0,8 m³ ha⁻¹ como maior volume, aos doze meses após plantio, após aplicação de 41,75g por cova de P. Lima et al. (1996) estudando o efeito de superfosfato simples no crescimento inicial em campo de *Peltophorum dubium*, *Schinus terebinthifolius*, *Senna multijuga*, *Senna macranthera*, *Tabebuia crhysotrich*, *Machaerium villosum* e *Platycyamus regnellii*, observaram que a dose para atingir o máximo crescimento volumétrico variaram entre 44 e 59 g por cova de P.

$$Y = 5,7392 + 0,0934x - 1,9536y - 0,0005x^2 + 0,1094y^2 \quad R^2 = 95\%$$

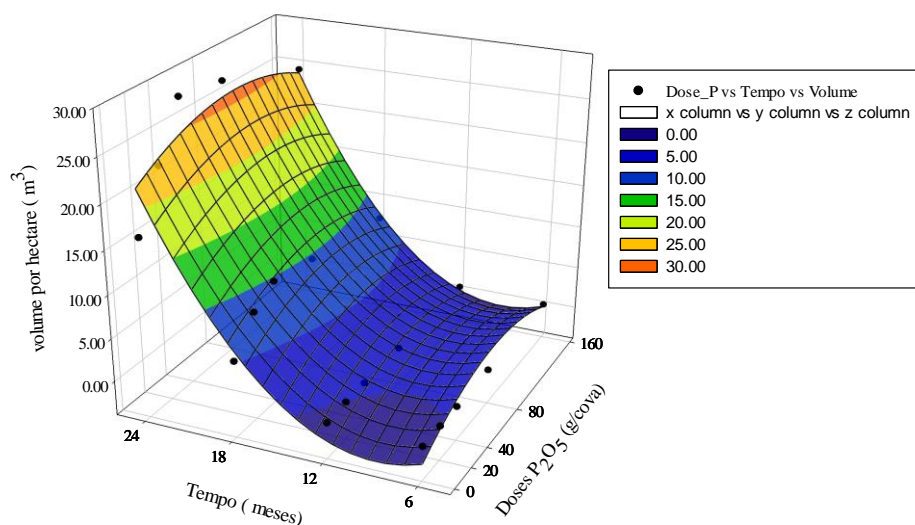


FIGURA 3. Volume da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, em função do tempo, após aplicação de doses de P_2O_5 no solo.

DOSES DE NITROGÊNIO

A relação entre a altura das plantas de *Acrocarpus fraxinifolius* sob aplicação de doses de N avaliadas aos seis, 12, 18 e 24 meses após a plantio foi descrita segundo o modelo de superfície de resposta dado pela equação abaixo $Y = -0,360 + 0,007x + 0,134y - 0,00003703x^2 + 0,007y^2$. O modelo possui um poder explanatório de cerca de 99%, isto é, 99% da

variabilidade que ocorre na altura das plantas pode ser explicada pela quantidade de N aplicada no solo e pelo período de tempo.

O ajuste quadrático em função das doses de N, alcançando o seu valor máximo na dose de 95 g por cova de N, atingiu a altura de 7,22 m foi verificado para o período entre seis e 24 meses após o plantio no campo (FIGURA 4). Carlos (2013), estudando jacarandá da Bahia em um Latossolo Vermelho, encontrou ajuste quadrático da altura em resposta às doses de N, estimando, assim, que a maior altura, aos seis meses após plantio, seria obtida com a dose de 115 g cova⁻¹ de ureia 52 g por cova⁻¹ de N e, aos doze meses, com a dose de 107,5 g cova⁻¹ de ureia 48 g por cova⁻¹ de N.

$$Y = -0,360 + 0,007x + 0,134y - 0,00003703x^2 + 0,007y^2 \quad R^2 = 99\%$$

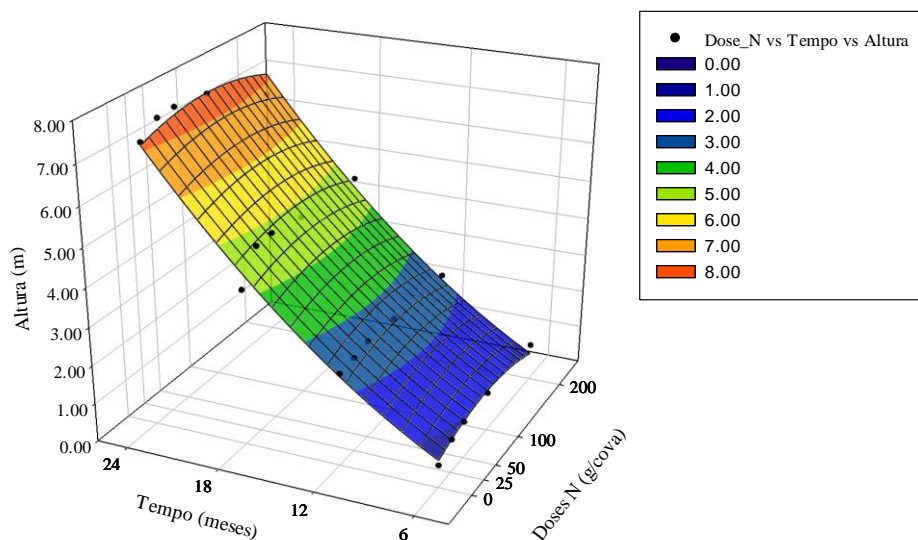


FIGURA 4. Altura de plantas de *Acrocarpus fraxinifolius*, em função do tempo, após aplicação de doses de N no solo.

Sousa (2016) encontrou efeitos de ordem quadrática para o crescimento em altura de *Dipteryx alata*. A dose estimada para se obter a maior altura de planta (40,41 cm) foi 31,64 g cova⁻¹ de N. Segundo Marques et al. (2006) o crescimento em altura de *Dalbergia nigra*, apresentou resposta quadrática ao aumento das doses de N, com altura de 54,3 cm com dose máxima de 140 mg dm⁻³ de N.

A aplicação de doses de N sobre a altura da parte aérea pode produzir efeito linear positivo, como verificado em mudas de *Mimosa*

caesal piniaefolia (MARQUES et al., 2006^a; GONÇALVES et al., 2013).

Assim como no presente estudo, o fornecimento de N pode apresentar resposta quadrática do crescimento em altura, conforme apresentados por Vieira et al. (2007) com mudas de *Schizolobium parahyba*, as quais apresentaram maior altura após aplicação de 100 mg dm⁻³ de N.

O diâmetro das plantas não apresentou interação significativa entre os fatores de estudo, apenas houve evidência significativa para o efeito principal dos períodos de avaliação. Deste modo, a relação entre o diâmetro das plantas e o período de avaliação foi descrita com base no modelo $Y = 3,137 + 0,007x - 0,0000284x^2$. O modelo quadrático ajustado apresentou um poder explicativo de 89%, em função das doses crescentes de N, alcançando o seu valor máximo para a dose de 123 g de N cova⁻¹ que atingiu o diâmetro de 3,95 cm no período de 24 meses (FIGURA 5).

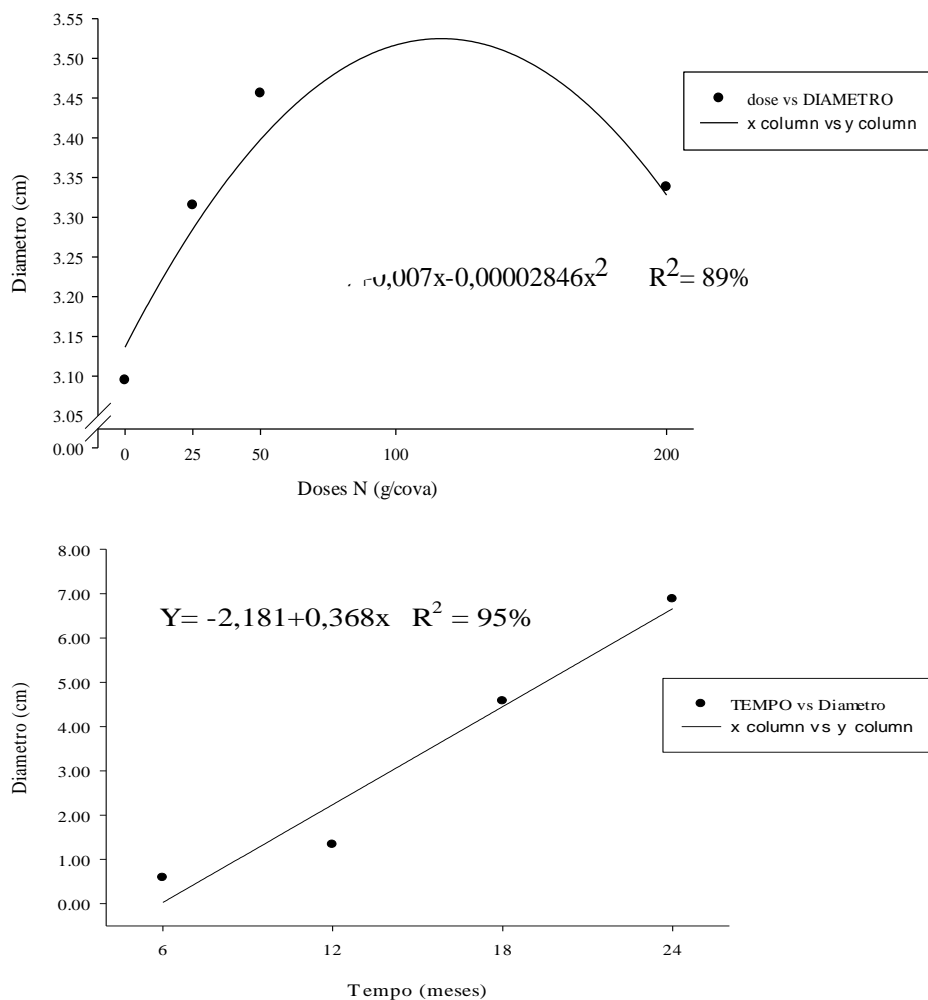


FIGURA 5. Diâmetro das plantas de *Acrocarpus fraxinifolius*, em função do tempo, após aplicação de doses de N no solo.

A avaliação do diâmetro teve um ajuste linear em função do tempo. Observou-se aumento que variou de 0 a 7,52 cm, que certamente

esta relacionado com as doses N que foram aplicadas ao longo dos 24 meses (FIGURA 5). Resultados encontrados por Carlos (2013) mostram efeito quadrático das doses de N, no diâmetro de *Dalbergia nigra*, estimando que o maior diâmetro encontrado aos seis meses foi para a dose 88,34 g de por cova de N e, aos 12 meses, para a dose 121 g por cova de N. Sousa (2016), estudando o crescimento de *Dipteryx alata* aos 12 meses de idade, encontrou efeitos de ordem quadrática para o diâmetro. O mesmo autor obteve a estimativa do maior diâmetro (12,15 mm) com a dose de 32,55 g cova⁻¹ de N. Segundo Marques et al. (2006) estudando o crescimento em diâmetro de *Dalbergia nigra* obteve valor máximo de 5,81 mm, para a dose de 151 mg dm⁻³ de N. Já Vieira et al. (2007), pesquisando o crescimento em diâmetro de mudas de *Schizolobium parahyba*, o maior diâmetro foi atingido com a aplicação de 100 mg dm⁻³ de N.

O volume de madeira das plantas mostrou evidência de interação significativa entre os fatores de estudo em análise. Desta forma a relação entre o volume da madeira e as doses de N estudadas conjuntamente com os períodos de avaliação é descrita segundo a superfície de resposta definida com base na equação $Y = 10,037 + 0,022Xx - 2,332y -$

$0,00001499x^2 + 0,119y^2$. Este modelo é responsável em explicar a variabilidade que ocorre no volume em aproximadamente 98%.

De forma geral a análise do volume da madeira apresentou ajuste quadrático em função das doses crescentes de N, alcançando o seu valor máximo na dose de 73 g por cova de N, alcançou um volumétrico de $22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ entre o período de seis a 24 meses após plantio (FIGURA 6). Carlos (2013), estudando fertilização para a espécie de *Dalbergia nigra*, apresentou ajuste quadrático, sendo o maior volume de $1,09 \text{ m}^3$, encontrado com a aplicação de 118g por cova de N aos dozes meses. Bovi et al, (2002) estudando adubação nitrogenada e fosfatada em pupunha, constataram que em solo de baixa fertilidade a pupunheira apresenta resposta linear, tendo crescimento máximo com as doses $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}$ de N.

$$Y = 10,037 + 0,022x - 2,332y - 0,00001499x^2 + 0,119y^2 \quad R^2 = 98\%$$

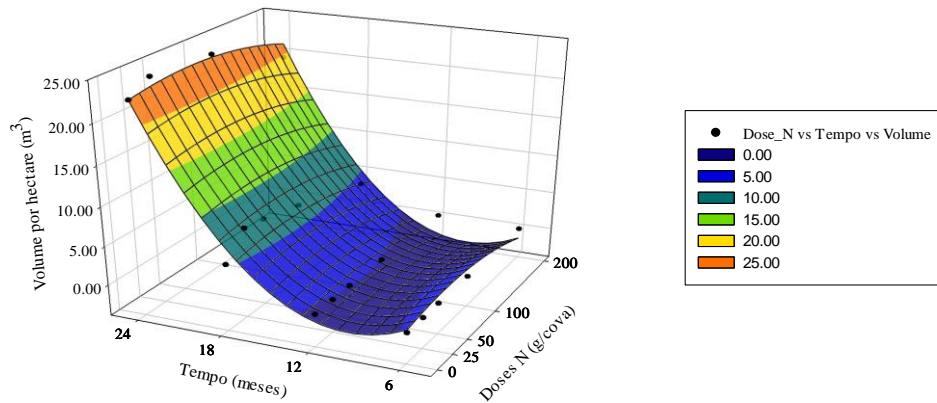


FIGURA 6. O volume por hectare (m^3) de *Acrocarpus fraxinifolius* após aplicação de doses de N no solo.

CONCLUSÕES

As plantas de *Acrocarpus fraxinifolius* responde a adubação nitrogenada e fosfatada.

As melhores doses aplicadas para o P foi entre 90 a 100 g cova⁻¹ e para o N entre 70 a 120 g cova⁻¹.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G.; Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normas climatológicas 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BOVI, M.L.A., GODOY JR, G., SPIERING, S.H.; Respostas de crescimento da pupunheira à adubação NPK. **Scientia agrícola**. V.59, n.1, p.161-166, 2002.

CARLOS, L.; **Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* sob calagem e adubação com N, P e K em condições controladas e em campo**. 2013. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CARVALHO, M. A.; **Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solos com horizontes B latossólico e B textural**. 1985. 79 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e uso da Terra)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.

CECONI, D.E.; POLETTO, I.; BRUN, E.J.; LOVATO, T.; Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* mart.) sob influência da adubação fosfatada **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 292-299, 2006.

DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; ALOVISI, A. A.; Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 163-168, 1997.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E.; Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.

DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A.; **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008. 175p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FIRMINO, A. C.; MORAES, W. B.; FURTADO, E. L.; Primeiro relato de *Ceratocystis fimbriata* causando seca em *Acrocarpus fraxinifolius* no Brasil. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 41, n. 2, p. 160, 2015.

GONÇALVES, F.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, G.F.; FILHO, N.M.T.; Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.5, p.947-959, 2010.

GONÇALVES E.O, Paiva H.N, Neves, J. C.L, GOMES, J.M.; Nutrição de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. sob diferentes doses de N,P, K, Ca e Mg. **Ciência Florestal** 2013; 23(2): 273-286.

GONÇALEZ, J. C.; BREDA, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, p. 329 - 341, 2006.

GONÇALVES, J. L. M.; **Recomendações de adubação para Eucaliptus, Pinus e espécies típicas da Mata Atlântica**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 23 p. (Documentos Florestais, 15).

GUSMÃO, O. E.; Cedro-Rosado de la Índia: elarbol mágico. **Cedros y Paulownias**. Disponível em: <http://paulowniasperuanas.lacoctelera.net/post/2006/03/28/cedrorosado-la-india-arbol-magico>. Acessado em 30 de Março de 2014.

HIGA, A. R.; PRADO, C.; A. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight e Arn. **Embrapa Florestas**, 1998. p. 57-60. Seminário realizado em Curitiba, de 6 a 8 de outubro de 1998.

LIMA, H.N. VALE, F.R., SIQUEIRA.; CURI, N.; Crescimento inicial de espécies arbóreas em resposta ao superfosfato simples em campo. **Rev, UA. Série: Ciências Agrárias**, v.4/5, n.1/2, p.57-69, 1995/1996.

MARQUES, V. B. PAIVA, H.N.; GOMES, J.M.; NEVES, J.C.L.; Efeito de fontes e doses de nitrogênio no crescimento de mudas de sabiá

(*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 77-85, 2006 a.

MARQUES, V.B.; PAIVA, H.N. GOMES, J.M.; NEVES, J.C.L.; BERNARDINO, D.C.S. Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento inicial e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (vell.) Fr. All. ex Benth). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.725-735, 2006.

MARTÍNEZ, P. E; GARCÍA, J. M. M.; SÁNCHEZ, M. de la L. H.; PÉREZ, G. O.; Pink Cedar (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight) intercropping system and its effect on soil organic matter content. **Revista UDO Agrícola**, v.6, p. 109-113, 2006.

MIGUEL, E.P.; CANZI, L.F.; RUFINO, R.F.; SANTOS, G.A.; Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de rio Verde – Go, **Enciclopedia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11; p. 1-13, 2010.

MIRANDA, D. L. C.; JUNIOR, V. B.; GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Plena**, v.11, n.03; p. 01-08, 2015.

NISGOSKI, S.; TRIANOSKI, R.; MUÑIZ, G. I. B.; MATOS, J. L.M.; STYGAR, M.; Variação Radial das Estruturas da Madeira de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. **Floresta e Ambiente**, janeiro, 2012.

PRADO, C. de A.; PEREIRA, J. C. D.; MATTOS, P. P. de; SCHAITZA, E. G.; HIGA, A. R. Características Físicas e Químicas da Madeira de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn. Colombo: **Embrapa Florestas**, p.14, 2003.

R DEVELOPMENT CORE TEAM - RDCT. R: A language and environment statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RIBEIRO, A.; FILHO, A.C.F.; SCOLFORO, J.R.S.; O cultivo do Mogno Africano (*Khaya* spp.) e o crescimento da atividade no Brasil, **Floresta e Ambiente**; 24: e00076814, 2017.

SANTIN, D. et al. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.

SILVA, B. M.; SANTOS, W. J. R.; MARQUES, J. J. G. S. M. **Levantamento detalhado dos solos da fazenda Muquém/UFLA, Lavras - MG**. Lavras: UFLA, 2014. 73 p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SOUSA, F.F. **Aspectos nutricionais do baru (*Dipteryx alata* Vog.) em casa de vegetação e em campo**. 2016. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M de; PRATA, J. G. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus spp.* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 343-350, setembro, 2011.

VENTURIN, N; CARLOS, L; SOUZA; P. A; MACEDO; R. L. G; VENTURIN, R. P; HIGASHIKAWA, E. M. Desempenho silvicultural de *Acrocarpus fraxinifolius* wight em função de diferentes espaçamentos e idades. **Cerne**, Lavras, v. 20, no.4, p.629-636. 2014.

VIEIRA, A.H, LOCATELLI, M.; FRANÇA J.M; CARVALHO J.O. M.; **Crescimento de mudas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby sob diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio**. Porto Velho: Embrapa Rondônia; 2007.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E. Efeito de diferentes doses de fósforo no crescimento de plantas de *Mimosa scabrella* Bentham (Bracatinga). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 28. 2001, Londrina. **Anais...** SBCS, 2001. p. 149.