

Deficiência de macronutrientes em *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze

Macronutrient deficiency in *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze

Marcelo Leandro Feitosa de Andrade¹, Antônio Enedi Boaretto^{II}

Resumo

O conhecimento dos efeitos da nutrição mineral sobre a fisiologia vegetal de espécies nativas é um importante auxílio para que se obtenha o sucesso desejado quando estas são usadas no reflorestamento ou na recuperação de áreas degradadas. A presente pesquisa avaliou as consequências da deficiência de macronutrientes em *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze (jequitibá-branco) nas taxas de assimilação de gás carbônico e de transpiração e na produção de biomassa desta espécie, que é amplamente utilizada na restauração florestal no Brasil. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em blocos ao acaso, com sete tratamentos e três repetições, empregando a técnica de diagnose por subtração de macronutrientes, com um tratamento-controle no qual o jequitibá-branco foi cultivado em solução nutritiva completa, com todos os macros e micronutrientes. Os teores de nutrientes foram determinados por análise química nos diferentes órgãos do jequitibá-branco; através do analisador de gás por infravermelho portátil (*Infrared Gas Analyzer* – IRGA, modelo Li-cor 6400) foram determinadas as taxas de assimilação de gás carbônico e de transpiração em folhas de três partes distintas das plantas, e ao final do experimento foi realizada a determinação da produção de biomassa seca. A deficiência dos macronutrientes, de modo geral, prejudicou as taxas de assimilação de gás carbônico e de transpiração e, por conseguinte, a produção de biomassa seca das plantas jovens de jequitibá-branco foi menor em relação ao tratamento-controle. Os resultados deste estudo sugerem que a implantação de florestas ou a recuperação de áreas degradadas por meio do reflorestamento que utilizam o jequitibá-branco certamente serão prejudicados se a complementação nutricional não for realizada quando o solo for deficiente em qualquer dos macronutrientes.

Palavras-chave: Jequitibá-branco, Deficiência nutricional; Assimilação de gás carbônico; Transpiração

Abstract

Knowledge of the mineral nutrition effects on plant physiology of native species is an important aid in order to obtain the intended success when they are used in reforestation or recovery of areas with deteriorated soils. This study investigated the macronutrient deficiency effects in *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze, known in Brazil as “jequitibá-branco”, in carbon dioxide assimilation and transpiration rates and biomass production of this species, which is widely used in reforestations in Brazil. The experiment was carried on a greenhouse, in a randomized block design with seven treatments with three replicates, using the technique of diagnosis by subtraction of macronutrients, with a control treatment in which the *Cariniana estrellensis* was grown in nutrient solution with all macro and micronutrients. In different organs of “jequitibá-branco” the nutrient contents by chemical analysis were determined; using portable infrared gas analyzer (*Infrared Gas Analyzer* - IRGA, Li-cor Model 6400) carbon dioxide assimilation and transpiration rates were determined in leaves of three distinct parts of plants, and at the end of the experiment was obtained the dry biomass weight. The deficiency of nutrients, in general, limited the carbon dioxide assimilation and transpiration rates and therefore the production of dry biomass of “jequitibá-branco” young plants was lesser than the control treatment. The results of this study suggest that the reforestation or rehabilitation of degraded areas using the *Cariniana estrellensis* will certainly be severely affected if the nutritional supplementation is not performed when the soil is deficient in any macronutrient.

Keywords: *Cariniana estrellensis*; Nutrient deficiency; Carbon assimilation; Transpiration

^I Biólogo, MSc, Servidor Público, Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente (ICMBio/MMA), Rod. MT 343, km 69, Zona Rural, Caixa Postal 07, CEP 78398-000, Porto Estrela (MT), Brasil. biomarcello@gmail.com (ORCID: 0000-0001-5334-0437)

^{II} Engenheiro Agrônomo, Livre-Docente, Professor do Centro de Energia Nuclear da Agricultura, Universidade de São Paulo, Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Av. Centenário, 303, Caixa Postal 96, CEP 13416-000, Piracicaba (SP), Brasil. aeboaret@cena.usp.br (ORCID: 0000-0003-3408-6730)



Introdução

É crescente o aumento da preocupação social tanto ao destino das áreas degradadas, quanto também ao destino dos fragmentos florestais remanescentes, de modo que atividades de produção sem um planejamento ambiental adequado e que tenham como consequência a degradação ambiental, estão fadadas a sanções cada vez mais restritivas, não só no aspecto legal, mas também na própria consolidação do mercado consumidor, que está cada vez mais exigente.

Consequentemente, a implantação de florestas, a recuperação e a restauração de ecossistemas degradados, por meio do reflorestamento com espécies florestais nativas, são algumas ações que contribuem para a manutenção da biodiversidade e para a recuperação da função ambiental de áreas antes degradadas.

Diante disso, tem sido crescente a procura e incentivos por projeto de recuperação e restauração de áreas degradadas por meio do reflorestamento com espécies nativas. Todavia, as espécies florestais nativas têm exigências nutricionais e respostas ao estresse nutricional diferenciado e a complementação nutricional é um dos principais fatores determinantes do sucesso de projetos de recuperação florestal (SORREANO, 2006). Isso porque, o suprimento inadequado de um nutriente mineral resulta em distúrbio nutricional que se manifesta por sintomas de deficiência característicos, sendo que tais distúrbios podem estar relacionados às funções desempenhadas pelos nutrientes no metabolismo da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004). Desta forma, a nutrição mineral é um fator importante da fisiologia das árvores, uma vez que o suprimento adequado de nutrientes é essencial para o sucesso do crescimento das espécies nativas, sendo isso confirmado por Cruz *et al.* (2011) cujo trabalho mostra que a aplicação de fertilizantes contendo N, P, K, Ca, Mg e S possibilitou significativo aumento do crescimento das mudas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.).

Muitos estudos descrevem os efeitos da deficiência nutricional em espécies florestais nativas brasileiras: Sorreano *et al.* (2011), descreveram em seu trabalho os sintomas de deficiência de N, P, K, Ca, Mg e S e avaliaram o efeito da omissão desses nutrientes na composição mineral das folhas de mudas de sangra-d'água (*Croton urucurana* Baill.). Souza *et al.* (2006) avaliaram as exigências nutricionais e o efeito da omissão de nutrientes sob o crescimento de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.). Os sintomas de deficiências de macro e micronutrientes em mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King) foram descritos por Wallau *et al.* (2008). O crescimento de mudas de bandarria (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby.) submetidas a condições de deficiências nutricionais foi avaliado por Locatelli *et al.* (2007b). A sintomatologia visual das carências de macronutrientes e produção de massa seca em mudas de cerejeira (*Amburana acreana* (Ducke) A.C. Smith) foram avaliadas por Vieira *et al.* (2011).

Entretanto, diferentemente destes estudos, o presente trabalho buscou avaliar como a deficiência de macronutrientes pode comprometer a assimilação de CO₂ e transpiração e, consequentemente, como esta deficiência repercute na produção de biomassa do vegetal de plantas jovens de *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze (jequitibá-branco), uma espécie florestal nativa brasileira indicada na recuperação de áreas degradadas e na restauração florestal.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo (CENA/USP), na cidade de Piracicaba - SP, definida geograficamente pelas coordenadas 22°42'30" de latitude sul, 47°38'00" de longitude oeste (*Datum* WGS 84).

As mudas de jequitibá-branco em tubetes de plástico rígido, contendo substrato, foram adquiridas em um viveiro comercial de espécies nativas. Anteriormente aos tratamentos de omissão de nutrientes, as plantas de jequitibá-branco deste experimento permaneceram durante três semanas em casa de

vegetação, em solução nutritiva de Johnson *et al.* (1957), com 50% da concentração da solução original para os macronutrientes. A concentração de micronutrientes foi igual à proposta por Johnson *et al.* (1957). Após esse período houve a retirada das mudas do substrato e as mesmas tiveram suas raízes cuidadosamente lavadas com água deionizada, para a retirada total do substrato, e foram transferidas para vasos de plástico, contendo soluções nutritivas e com a aeração oriunda de compressor de ar.

Após esse procedimento iniciou-se a omissão dos macronutrientes: nitrogênio (-N), fósforo (-P), potássio (-K), cálcio (-Ca), magnésio (-Mg) e enxofre (-S) pelo método de diagnose por subtração, havendo também um tratamento-controle, com os macronutrientes com concentração de 50% da proposta por Johnson *et al.* (1957). Para os micronutrientes, a concentração não foi alterada.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com três repetições em cada tratamento, sendo cada repetição representada por um vaso com 2 litros de solução nutritiva e com uma planta.

Diariamente, o volume da solução nutritiva foi completado com água deionizada, mantida com aeração. A troca de solução nutritiva realizou-se quando a condutividade elétrica da solução nutritiva diminuía para 70% da condutividade elétrica inicial, ou a cada três semanas.

As consequências fisiológicas da deficiência nutricional foram avaliadas por meio da determinação das taxas de assimilação de CO₂ e de transpiração, com o uso do analisador de gás por infravermelho portátil (*Infrared Gas Analyzer- IRGA*), modelo Li-cor 6400. As taxas de assimilação ou liberação de CO₂ foram expressas como a quantidade de CO₂ assimilado ou liberado por unidade de área foliar e tempo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) enquanto as taxas de transpiração foram dadas em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

As avaliações através do IRGA iniciaram aos 120 dias após o início dos tratamentos de omissão de nutrientes, sendo avaliadas duas folhas em cada parte da planta, a saber: folhas novas, folhas intermediárias e folhas velhas. Consideraram-se folhas novas aquelas do terço superior da planta, mais próximas do ápice caulinar; folhas intermediárias as do terço médio da planta, e folhas velhas as do terço inferior da planta, desprezando as duas folhas mais inferiores.

As medidas foram realizadas durante 15 dias no mês de julho, no período da manhã, em dias com sol e não nublados, entre 8h00 e 10h00. As avaliações foram feitas da seguinte forma: primeiramente as folhas novas do tratamento completo e em seguida as folhas novas de um dos tratamentos com deficiência. Posteriormente eram avaliadas as folhas intermediárias do tratamento completo e em seguida folhas intermediárias de um dos tratamentos de deficiência. Por fim, analisaram-se as folhas velhas do tratamento completo e as folhas velhas de um dos tratamentos de deficiência. Ou seja, analisaram-se primeiramente folhas de três partes distintas do tratamento completo e alternando com as três partes distintas dos tratamentos de omissão. Com esta sequência pretendeu-se diminuir a discrepância entre o horário da primeira medida e o horário da última medida de órgãos correspondentes aos tratamentos comparados. Para a avaliação da fotossíntese e da transpiração, a folha selecionada permanecia na câmara de análise por alguns minutos, até a estabilização no aparelho, ou seja, quando o desvio padrão do aparelho permanecia abaixo de 1%. A área foliar considerada foi de 6 cm², em função do tamanho do limbo foliar que ocupou toda a área da câmara fotossintética. A concentração de CO₂ foi mantida aproximadamente 400 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$, sendo que o fornecimento de ar no sistema foi obtido fora da casa de vegetação.

Neste estudo, a intensidade luminosa utilizada (PARi) foi de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. O valor foi assim regulado uma vez que, nesta faixa, as plantas de jequitibá-branco do tratamento completo demonstraram uma maior taxa de assimilação de CO₂. A temperatura da folha foi mantida entre 25 e 30°C.

Para determinação da produção de biomassa seca, cada uma das plantas de jequitibá-branco foi separada em caule (entendido como o caule central e galhos oriundos das bifurcações), raiz e folhas. Cada órgão foi lavado com água deionizada e seco em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 60°C, até atingir massa constante. Após a secagem do material vegetal foram determinadas a massa seca das folhas (MSF), dos caules (MSC) e raízes (MSR), materiais que em seguida foram moídos em moinho tipo Willey para determinação analítica do teor de macro e micronutrientes. O preparo do extrato e a determinação analítica do teor de macro e micronutrientes nas folhas, caule e raízes estão descritos em Sarruge e Haag (1974).

Determinou-se também a massa seca da parte aérea (MSPA), definida como a soma da MSF com

MSC; a razão raiz/parte aérea (MSR/MSPA) e a massa seca total (MSTO).

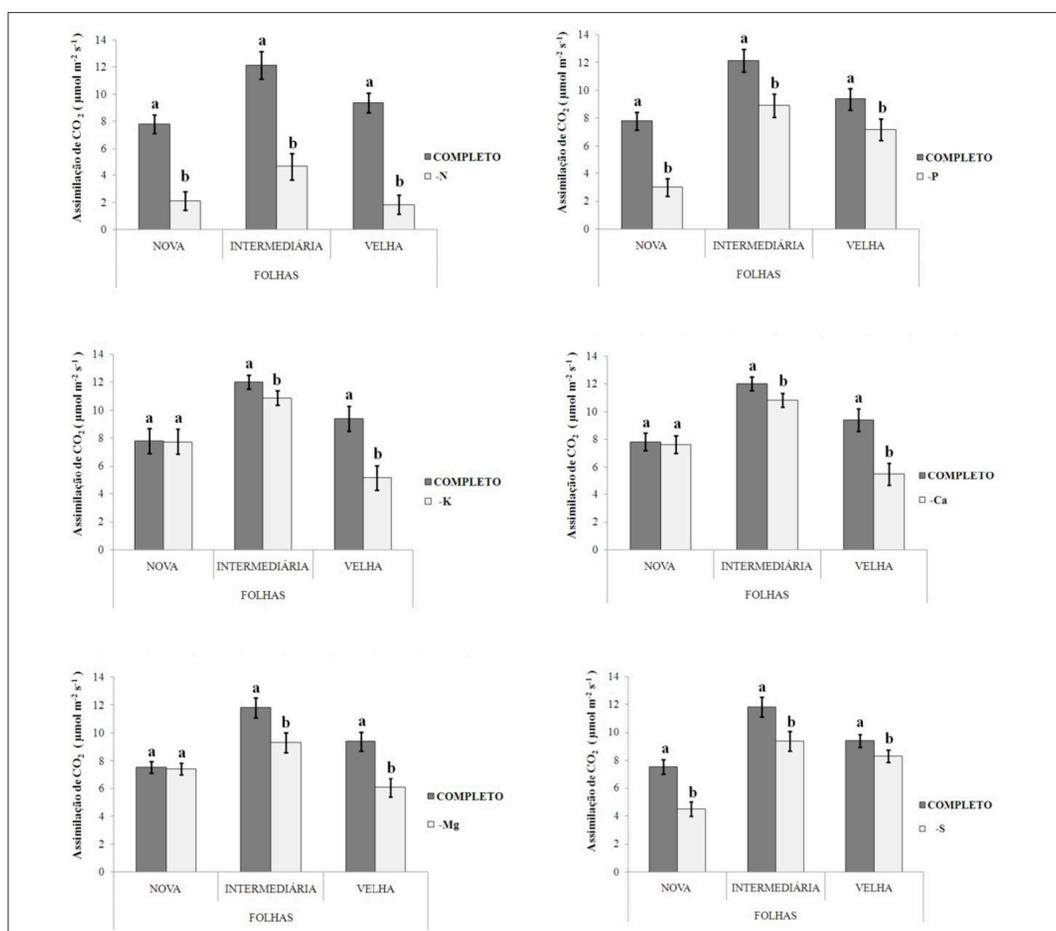
Os valores obtidos (taxas de assimilação de carbono e de transpiração, teor de macro e micronutrientes e produção de biomassa seca) foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (PIMENTEL-GOMES, 1990).

Resultados e discussão

A deficiência nutricional de N, P e S prejudicaram as taxas de assimilação de CO₂ e de transpiração das folhas novas, intermediárias e velhas, enquanto que a deficiência de Ca, K e Mg prejudicaram as taxas de assimilação de carbono somente nas folhas intermediárias e velhas e as taxas de transpiração nas folhas novas, intermediárias e velhas para K e Mg e das intermediárias e velhas para Ca (Figuras 1 e 2).

Figura 1 – Assimilação de CO₂ das folhas novas, intermediárias e velhas de jequitibá-branco, submetidas ao tratamento completo e com deficiência de nitrogênio (-N), fósforo (-P), potássio (-K), cálcio (-Ca), magnésio (-Mg) e enxofre (-S). As médias seguidas pela mesma letra, dentro das categorias de folhas, não diferem estatisticamente entre si.

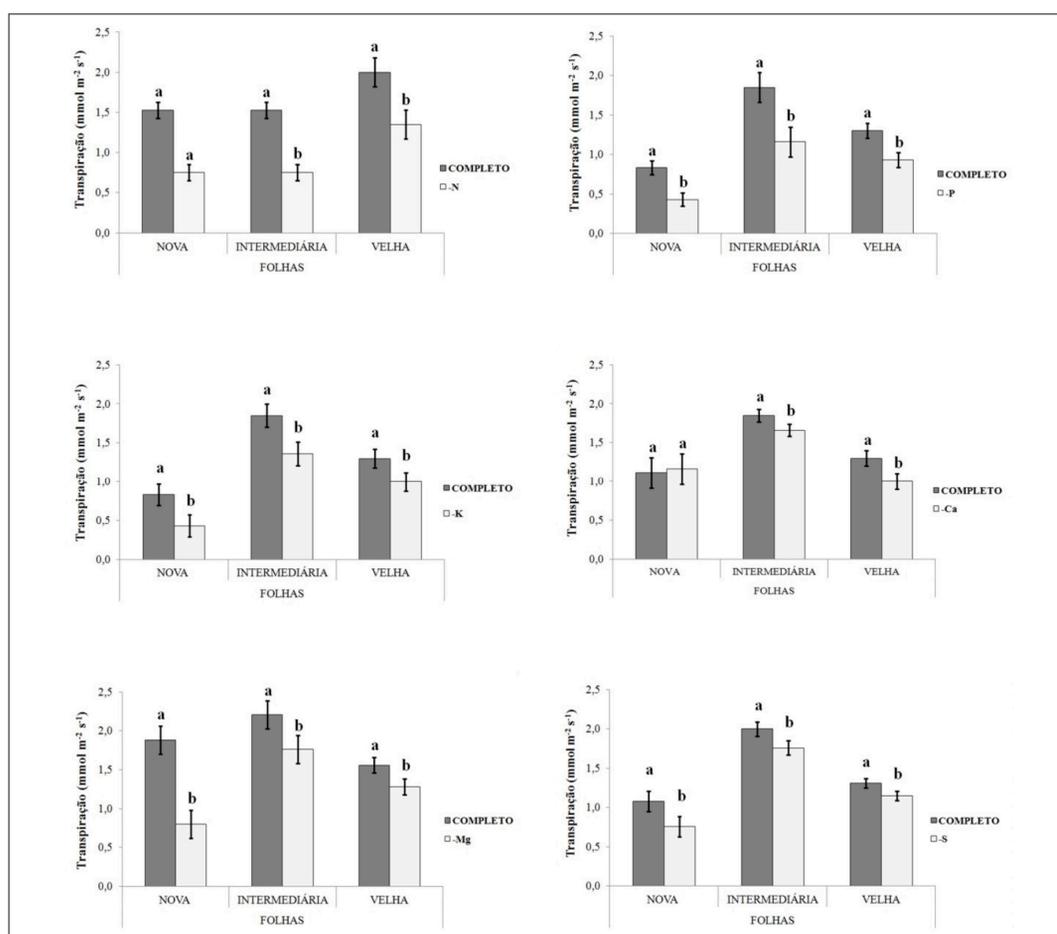
Figure 1 – Carbon dioxide assimilation by leaves of three parts (new, intermediate and old leaves) of the *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze, from control and treatments: nitrogen deficiency (-N), phosphorus deficiency (-P), potassium deficiency (-K), calcium deficiency (-Ca), magnesium deficiency (Mg) and sulfur deficiency (-S). Means followed by the same letter within the categories of leaves were not statistically different by Tukey Test at 5% probability.



Fonte: Andrade; Boaretto (2012)

Figura 2 – Transpiração das folhas novas, intermediárias e velhas plantas de jequitibá-branco, submetidas ao tratamento completo e com deficiência de nitrogênio (-N), fósforo (-P), potássio (-K), cálcio (-Ca), magnésio (-Mg) e enxofre (-S). As médias seguidas pela mesma letra, dentro das categorias de folhas, não diferem estatisticamente entre si.

Figure 2 – Transpiration by leaves of three parts (new, intermediate and old leaves) of the *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze, from control and treatments: nitrogen deficiency (-N), phosphorus deficiency (-P), potassium deficiency (-K), calcium deficiency (-Ca), magnesium deficiency (Mg) and sulfur deficiency (-S). Means followed by the same letter within the categories of leaves, were not statistically different, by Tukey Test at 5% probability.



Fonte: Andrade; Boaretto (2012)

Tabela 1 – Matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MSTO) de jequitibá-branco, em função dos tratamentos.

Table 1 – Dry matter production of leaves (MSF), of stem (MSC), of aerial part (MSPA), of root (MSR) and total (MSTO) of *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze, obtained in the treatments.

Tratamentos	MSF (g)	MSC (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MSR/MSPA	MSTO (g)
Completo	37 a ⁽¹⁾	17 a	54 a	10a	0,17 bc	64 a

Continua...

Tabela 1 – Conclusion...

Table 1 – Conclusão...

Tratamentos	MSF (g)	MSC (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MSR/MSPA	MSTO (g)
Deficiência de N	13 d	6 d	18 d	5 c	0,25 a	24 e
Deficiência de P	17 cd	11 c	28 c	4 c	0,14 c	32 d
Deficiência de K	26 b	15 ab	40 b	7 b	0,17 bc	48 b
Deficiência de Ca	21 bc	13 bc	34 bc	7 b	0,20 b	41 bc
Deficiência de Mg	20 c	13 bc	32 c	7 b	0,20 b	40 cd
Deficiência de S	21 bc	12 bc	34 c	8 b	0,21 ab	41 bc
CV (%)	9	7	7	8	10	6
Valor de F ⁽²⁾	44	50	70	31	10	77

⁽¹⁾ As médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

⁽²⁾ significativo a 5% de probabilidade.

O comprometimento da assimilação de CO₂ e da transpiração nas três partes das plantas deficientes em N deve-se a alta mobilidade deste nutriente na planta, uma vez que na sua deficiência ele é facilmente redistribuído na forma de aminoácidos via floema para as partes novas, principalmente para as folhas jovens e regiões meristemáticas. Logo, os sintomas são visíveis inicialmente nas folhas mais velhas, sendo que, posteriormente, há o comprometimento das funções fisiológicas, também, das folhas mais novas.

Locatelli *et al.* (2007a), estudando o crescimento de mudas de bandarra (*Schizolobium parahyba var. amazonicum*) submetidas a condições de deficiências nutricionais, observaram que dentre os macronutrientes, a omissão de N foi o mais limitante na produção de massa seca das raízes, parte aérea e massa seca total.

Já a deficiência nutricional de P, a qual prejudicou, neste experimento, as taxas de assimilação de CO₂ e de transpiração das folhas e taxas de assimilação de carbono (Figuras 1 e 2), justifica-se tendo em vista que o P desempenha papel estrutural, fazendo parte dos nucleotídeos, os quais formam os ácidos nucléicos, tais como o DNA e RNA, que são importantes moléculas responsáveis, respectivamente, pelo armazenamento e transferência da informação genética. Em ambos os compostos, o fosfato forma uma ponte entre as unidades de ribonucleosídeos para formar as macromoléculas. Além disso, moléculas responsáveis pela transferência de energia, como a adenosina trifosfato (ATP), a uridina trifosfato (UTP) e guanosina trifosfato (GTP) tem o P na sua composição (RAVEN, 1996; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Logo, tanto o armazenamento e a transferência da informação genética e energética, assim como a síntese de proteína são prejudicados pela deficiência de P, sendo que mesmo requerido em pequenas quantidades, seja fundamental para o desenvolvimento celular vegetal e, conseqüentemente, para o desenvolvimento morfológico e fisiológico vegetal.

A deficiência de P foi a que mais limitou o crescimento em altura e diâmetro do colo do cedro-rosa (*Cedrela odorata* L.) (LOCATELLI *et al.*, 2007b) e foi também o nutriente mais limitante no crescimento da espécie *Acácia mangium* Willd. (BRAGA *et al.*, 1995).

A deficiência de S compromete algumas etapas o processo da fotossíntese: na rota glicolítica, por exemplo, a descarboxilação do piruvato e a formação do acetil coenzima A. Estas reações são catalisadas por um complexo multienzimático envolvendo três coenzimas contendo S, a tiamina pirofosfato (TPP), o ácido lipoico (sistema redox)

e um grupo sulfúrico de coenzima A (KERBAUY, 2004). Portanto, inexistindo a tiamina pirofosfato, ácido lipoico e o grupo sulfúrico de coenzima A, a descarboxilação do piruvato e a formação do acetil coenzima A não serão catalisadas. O comprometimento da assimilação de CO₂ e da transpiração das plantas jovens de jequitibá-branco, motivado pela deficiência de S, causou a diminuição da produção de biomassa seca (Tabela 1).

Vieira *et al.* (2011), identificando a sintomatologia visual das carências de macronutrientes e produção de massa seca em mudas de cerejeira, observaram que a omissão de S, de N e de P foram as que mais limitaram a produção de biomassa seca na parte aérea, e as de S, de P e de K foram as mais limitantes para produção de biomassa das raízes.

O K é necessário para diversas funções regulatórias de processos fisiológicos (KERBAUY, 2004), sendo que sua deficiência causa uma menor produção de biomassa seca (Tabela 1). O K sendo ativador de numerosas enzimas e desempenha papel na regulação do potencial osmótico da célula vegetal e, por conseguinte, no controle da abertura e do fechamento dos estômatos. Sua deficiência acarreta distúrbios em reações metabólicas de acumulação de compostos nitrogenados livres ou solúveis, comprometendo a fotossíntese das plantas com deficiência deste nutriente (EPSTEIN, 1975; TAIZ; ZEIGER, 2004) e comprometendo as funções dos estômatos altera a taxa de transpiração da planta.

Na fotossíntese o K atua em vários níveis, como por exemplo, no fluxo de H⁺ através das membranas dos tilacoides mantendo o gradiente de pH transmembrana para a síntese de ATP (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Como o elemento K por ser remobilizado para as folhas mais jovens, os sintomas de deficiência aparecem inicialmente nas folhas mais velhas (TAIZ; ZEIGER, 2004), o que justifica o fato de a deficiência de K diminuir consideravelmente a taxa de assimilação de CO₂ do jequitibá-branco nas folhas mais velhas (Figura 1).

No processo metabólico, o Ca afeta a atividade de hormônios e de enzimas que regulam a senescência e a abscisão das folhas e frutos (MALAVOLTA, 1980; MENGEL; KIRKBY, 1987; MARSCHNER, 1995). Além disso, o Ca tem influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, pois está envolvido em processos como fotossíntese, divisão celular, movimentos citoplasmáticos e aumento do volume celular (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). A deficiência de Ca afetou a fotossíntese e, por conseguinte, a produção de biomassa seca de plantas jovens de jequitibá-branco (Tabela 1). O comprometimento do metabolismo das plantas de jequitibá-branco devido a deficiência de Ca deve-se também à atuação do Ca como mensageiro secundário ao ativar a proteína chamada calmodulina, a qual, por sua vez, ativa uma série de enzimas importantes para a fotossíntese da planta (MALAVOLTA, 1980).

A deficiência de Mg comprometendo a síntese de clorofila diminuiu a assimilação de CO₂ (Figura 1) e, por conseguinte, a produção de biomassa seca (Tabela 1). Isso justifica-se, pois o Mg é um elemento móvel no floema e, portanto, redistribui-se facilmente das folhas e tecidos mais velhos para regiões de maiores exigências, como os meristemas e órgãos de reserva (EPSTEIN, 1975) sendo que, conseqüentemente, os sintomas de deficiência de Mg aparecem inicialmente nas folhas mais velhas, fato este que justifica a diminuição da assimilação de gás carbônico em planta de jequitibá-branco com deficiência de Mg. Mas a principal justificativa para a diminuição da taxa de assimilação de CO₂ é que o Mg é parte da estrutura da molécula de clorofila, juntamente com o N e outros elementos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Portanto, a deficiência de Mg compromete a síntese de clorofila limitando a fotossíntese, comprometendo a taxa de assimilação de CO₂ e de transpiração. Além de ser um dos principais ativadores enzimáticos na respiração, na fotossíntese e na síntese de DNA e RNA, o Mg também faz parte de muitas metaloenzimas, ou seja, as enzimas que possuem um metal em sua estrutura (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Neste estudo, a deficiência de macronutrientes mostrou-se claramente limitante

na produção de biomassa seca das plantas jovens de jequitibá-branco. Os resultados semelhantes ao deste foram vistos em outras espécies florestais: Souza *et al.* (2006), que avaliando as exigências nutricionais e o efeito da omissão de nutrientes sob o crescimento de mudas de ipê-roxo notou que a maior produção média de matéria seca da parte aérea (folhas e caules) foi apresentada pelo tratamento completo, não diferindo estatisticamente dos tratamentos com a omissão de K, Ca, Mg, Zn e B. Todavia os mesmos autores constataram que as menores produções de matéria seca da parte aérea foram produzidas nos tratamentos com a omissão de N ou P. Wallau *et al.* (2008), buscando em seu trabalho diagnosticar os sintomas de deficiências de macro e micronutrientes em mudas de mogno, verificaram que, embora não tenham diferido estatisticamente do tratamento completo, os nutrientes que mais afetaram a produção de massa seca total foram N, Cu, K e Ca. Moretti *et al.* (2011), ao avaliar as exigências nutricionais e o efeito da omissão de nutrientes no crescimento de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis* (F. Muell.) Bahadur), constataram que as omissões de N, P, S e Ca foram as que mais acentuadamente diminuíram a produção de biomassa seca da parte aérea (folhas e caules).

Já em Sorreano *et al.* (2011), a produção de biomassa de sangra d'água mostrou-se pouco influenciada pela indução da deficiência macronutrientes, a deficiência de N, P, K, Ca, Mg e S.

Um dos parâmetros para detectar a deficiência nutricional em plantas é calcular a relação entre as massas secas de raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA), tendo em vista que em ambientes com baixa fertilidade natural, a relação MSR/MSPA é maior, pois, a planta aumenta o volume de solo explorado como forma de maximizar a retirada de nutrientes nessas condições (CLARKSON, 1985). Neste estudo, os tratamentos cujas plantas estavam com deficiência de N, Ca, Mg e S foram as que apresentaram as maiores relações MSR/MSPA (Tabela 1), mas somente as plantas com deficiência em N tiveram a relação MSR/MSPA estatisticamente significativa em relação ao tratamento completo. O tratamento que apresentou os menores valores de MSR/MSPA foi aquele com deficiência de P.

Os teores de macronutrientes nas folhas, nos caules e nas raízes foram menores nos tratamentos com deficiência de um dos nutrientes em relação ao tratamento completo (Tabela 2). Os teores foliares, dos caules e raízes, verificados na Tabela 2, demonstram o efeito da deficiência de macronutrientes, revelando que a ausência de um elemento sempre resultou na redução de sua concentração nas folhas, caules e raízes.

A deficiência de N, P, K diminuiu os teores de B e Cu nas folhas e caules de jequitibá-branco, assim como também a deficiência de Ca diminuiu os teores de B nestas estruturas. Yamanouchi (1980) relatou que o teor de B nas folhas de tomate diminuiu com o aumento do fornecimento de P, interação também observada neste, quando na deficiência de P houve a diminuição nos teores de B nas folhas e caules de jequitibá-branco.

A deficiência de K, Ca, Mg e S diminuiu os teores de Cu nos caules, assim como a deficiência de Ca aumentou os teores de Fe e Zn nos caules de jequitibá-branco, em função dos tratamentos. Já deficiência de Ca diminuiu os teores de B nas raízes, e aumentou os teores de Fe, Mn e Zn. O menor teor de Ca nas folhas, caules e raízes, pode ser resultante do efeito de uma menor taxa de transpiração que ocorre quando há deficiência do nutriente (BAKER; GAUCH; DUGGER JÚNIOR, 1956), uma vez que o Ca é dependente do fluxo transpiratório para ascender às partes mais novas (ISERMANN, 1970). A sustentabilidade da existência da interação Ca x B deve estar alicerçada no fato de ambos exercerem uma função estrutural das membranas e parede celular (MARSCHNER, 1995).

Tabela 2 – Teores de macronutrientes nas folhas, nos caules e nas raízes de jequitibá-branco, em função dos tratamentos.Table 2 – Macronutrients content in the leaves, in the stem and in the roots of the *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze, by the treatments.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg ⁻¹)					
Folhas						
Completo	31 ab ⁽¹⁾	6,0 a	21 ab	21 a	4,0 b	4,9 a
Deficiência de N	9 e	1,2 d	15 c	20 a	3,4 b	2,7 b
Deficiência de P	23 cd	0,4 e	16 bc	22 a	2,6 bc	3,1 b
Deficiência de K	20 d	3,0 c	1 d	22 a	3,1 bc	2,5 bc
Deficiência de Ca	32 a	5,0 b	22 a	4 b	6,0 a	5,2 a
Deficiência de Mg	26 bc	5,4 ab	19 abc	20 a	1,6 c	3,1 b
Deficiência de S	25 c	3,0 c	16 bc	19 a	3,5 b	1,3 c
CV (%)	8	8	14	10	17	13
Valor de F (2)	55*	160*	34*	34*	17*	30*
Caule						
Completo	20 a	7a	20 b	15 ab	4,6 b	3,6 b
Deficiência de N	7 b	3 bc	16 bc	14 ab	2,9 cd	2,7 bc
Deficiência de P	20 a	1 c	18 b	15 ab	3,1 cd	3,1 b
Deficiência de K	21 a	3 bc	11 c	26 a	3,7 bc	3,0 b
Deficiência de Ca	12 b	4 b	27 a	2 c	6,4 a	6,6 a
Deficiência de Mg	20 a	4 b	18 b	13 ab	2,2 d	2,9 b
Deficiência de S	19 a	4 b	18 b	18 a	4,5 b	1,6 c
CV (%)	12	18	10	33	10	12
Valor de F (2)	19*	28*	20*	6*	36*	48*
Raiz						
Completo	16 ab	6a	22 ab	18 b	3,8 b	4,7 b
Deficiência de N	7 c	4 b	19 b	17 b	3,0 b	2,9 de
Deficiência de P	19 a	1 c	17 b	18 b	4,0 b	4,0 bc
Deficiência de K	19 a	5 ab	8 c	25 a	3,3 b	4,3 b
Deficiência de Ca	18 ab	5 ab	26 a	7 c	5,2 a	4,3 b

Continua...

Tabela 2 – Conclusão...
Table 2 – Conclusion...

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg ⁻¹)					
Raiz						
Deficiência de Mg	16 ab	5 ab	17 b	16 b	1,7 c	6,8 a
Deficiência de S	15 b	6 ab	17 b	17 b	4,0 b	3,1 cd
CV (%)	8	18	11	9	11	10
Valor de F ⁽²⁾	35*	13*	26*	33*	23*	47*

⁽¹⁾ As médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si. ⁽²⁾ significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 3– Teores de micronutrientes nas folhas, nos caules e nas raízes de jequitibá-branco, em função dos tratamentos.

Table 3 – Micronutrients content in the leaves, in the stem and in the roots of the *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze, by the treatments.

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg kg ⁻¹)				
Folhas					
Completo	71 a ⁽¹⁾	8,1 a	353 ab	37 ab	26 a
Deficiência de N	38 d	4,1 b	282 b	40 ab	26 a
Deficiência de P	52 bcd	3,8 b	297 b	29 b	25 a
Deficiência de K	51 bcd	3,4 b	341 ab	31 b	27 a
Deficiência de Ca	45 cd	4,7 ab	438 ab	44 ab	34 a
Deficiência de Mg	62 ab	5,8 ab	359 ab	39 ab	29 a
Deficiência de S	59 abc	5,9 ab	330 b	48 a	26 a
CV (%)	10	25	10	14	12
Valor de F (2)	12	5	6	5	3
Caule					
Completo	35 a	10,4 a	161 b	43 ab	26 b
Deficiência de N	25 a	9,4 ab	152 b	51 a	25 b
Deficiência de P	29 a	8,4 abc	165 b	49 ab	29 b
Deficiência de K	36 a	6,0 d	150 b	37 b	22 b
Deficiência de Ca	32 a	8,2 bc	272 a	52 a	42 a

Continua...

Tabela 3 – Conclusão...

Table 3 – Conclusion...

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg kg ⁻¹)				
Caule					
Deficiência de Mg	33 a	6,9 cd	190 b	36 b	31 ab
Deficiência de S	35 a	8,1 bc	152 b	42 ab	27 b
CV (%)	13	9	13	11	15
Valor de F ⁽²⁾	3	12	10	5	7
Raiz					
Completo	36 a	14 a	148 b	41 b	30 bc
Deficiência de N	31 ab	11,7 a	137 b	34 b	27 bc
Deficiência de P	32 ab	10,9 a	141 b	32 b	23 c
Deficiência de K	31 ab	13,9 a	142 b	31 b	24 c
Deficiência de Ca	27 b	10,9 a	192 a	54 a	38 a
Deficiência de Mg	29 ab	10,7 a	155 b	38 b	28 bc
Deficiência de S	31 ab	11,0 a	147 b	34 b	32 ab
CV (%)	7	10	6	11	9
Valor de F ⁽²⁾	3	4	12	11	12

⁽¹⁾ As médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si. ⁽²⁾ significativo a 5% de probabilidade.

Conclusões

A deficiência de macronutrientes, de modo geral, diminuiu as taxas de assimilação de CO₂ e de transpiração de jequitibá-branco. O comprometimento dessas taxas contribuiu para que a deficiência limitasse a produção de biomassa seca das plantas jovens de jequitibá-branco.

Os resultados deste estudo sugerem que a implantação de florestas ou a recuperação de áreas degradadas, por meio do reflorestamento que utilizam o jequitibá-branco, certamente serão prejudicadas se não houver a complementação nutricional quando o solo for deficiente em qualquer um dos macronutrientes.

Agradecimentos

À FAPESP e ao CNPQ pelo suporte financeiro para a presente pesquisa e pela concessão da bolsa de mestrado, respectivamente.

Referências

BAKER, J. E.; GAUCH, H. G.; DUGGER JÚNIOR, W. M. Effect of boron on the water relations of higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 31, n. 1, p. 89-94, 1956.

BRAGA, F. A. M. *et al.* Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. **Revista Árvore**,

Viçosa, MG, v. 19, n. 1, p. 18-31, 1995.

CLARKSON, D. T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES E AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS, 1984, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC; SBSCS, 1985. p. 45-75.

CRUZ, C. A. F. *et al.* Efeito de macronutrientes sobre o crescimento e qualidade de mudas de canafístula cultivadas em latossolo vermelho-amarelo distrófico. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 5, p. 983-995, 2011.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.

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

ISERMANN, K. The effects of adsorption process in the xylem on the calcium distribution in higher plants. **Zeitschrift Pflanzernahrung, Bodenkunde**, v. 26, n. 1, p. 191-203, 1970.

JACOB, A.; UEXKULL, H. V. **Fertilizer use: nutrition and manuring of tropical crops**. Hannover: Verlagsgesellschaft fur Ackerbau, 1958.

JOHNSON, C. M. *et al.* Comparative chlorine requirements of different plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 8, p. 337-353, 1957.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

LOCATELLI, M. *et al.* Avaliação de altura e diâmetro de mudas de cedro rosa (*Cedrela odorata* L.) submetidas a diferentes deficiências nutricionais. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl 2, p. 645-647, jul. 2007a.

LOCATELLI, M. *et al.* Deficiências Nutricionais em Mudas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl 2, p. 648-650, jul. 2007b.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 252 p.

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

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. (Ed.). **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: Potash Institute, 1987. 687 p.

MORETTI, B. S. *et al.* Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 453-463, out./dez. 2011.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

RAVEN, P. H. *et al.* **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 54 p.

SORREANO, M. C. M. **Avaliação da exigência nutricional na fase inicial de crescimento de espécies florestais nativas**. 2006. 296 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior

de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SORREANO, M. C. M. *et al.* Deficiência de macronutrientes em mudas de sangra d’água (*Croton urucurana*, Baill.). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 347-352, jul./set. 2011.

SOUZA, P. A. *et al.* Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 261-270, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

VIEIRA, C. R. *et al.* Descrição de sintomas visuais em função das deficiências de macronutrientes em mudas de cerejeira (*Amburana acreana*). **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 789-796, out./dez. 2011.

WALLAU, R. L. R. *et al.* Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 304-310, out./dez. 2008

YAMANOUCHI, M. Effect of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and iron treatment on the absorption and translocation of boron in several crop grown in high concentration of boron. **Nippon Dojo**, Hiriyogaku Zasshi, v. 51, p. 126-130, 1980.