

Aspectos ecofisiológicos de mudas de
Hymenaea courbaril L. em resposta a supressão de N, P e KEcophysiological aspects of *Hymenaea courbaril* L.
seedlings in response to N, P and K suppressionHugo Henrique Costa do Nascimento¹, Cinthya Mirella Pacheco²,
Danubia Ramos Moreira de Lima³, Elizamar Ciríaco da Silva⁴ e
Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira⁵**Resumo**

A utilização de espécies nativas em projetos de recuperação de áreas degradadas vem se tornando frequente. No entanto, o desconhecimento sobre as exigências nutricionais das mesmas pode acarretar em despesas excedentes que inviabilizam a realização de tais projetos. Visando investigar parte dessa problemática, objetivou-se avaliar os efeitos da supressão de N, P e K sobre o desenvolvimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, com quatro tratamentos: Solução Nutritiva Completa (SNC); supressão de Fósforo (-P); de Nitrogênio (-N) e de Potássio (-K), dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições por um período de 100 dias. Para tanto, avaliou-se o crescimento, relações hídricas, trocas gasosas, teores de pigmentos fotossintéticos e acúmulo de solutos orgânicos. Os resultados permitem inferir que a biomassa seca da folha, a fotossíntese, a eficiência de carboxilação e o teor de prolina na raiz são bons indicadores do comportamento fisiológico de mudas de jatobá cultivadas sob supressão de N, P e K. Observou-se ainda que o N foi o macronutriente mais limitante ao crescimento de plantas de jatobá. Por fim, sugere-se que o requerimento nutricional quanto aos macronutrientes da referida espécie obedeça à ordem decrescente de: N>P>K.

Palavras-chave: Omissão de N, P e K; jatobá; comportamento fisiológico; solução nutritiva.

Abstract

The use of native species in projects of recovery is becoming frequent. However the lack of knowledge of the nutritional requirements of these species can lead to excess costs that prevent the realization of such projects. Seeking to solve part of this problem, this project aimed to evaluate the effects of the suppression of N, P and K on seedling development of jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). The experiment was conducted in a greenhouse of the Laboratory of Plant Physiology of the Universidade Federal Rural de Pernambuco, with four treatments: Complete Nutrient Solution (CNS); suppression of Phosphorus (-P), Nitrogen (-N) and Potassium (-K), arranged in a completely randomized design with six replications during 100 days. Therefore, we evaluated the growth, water relations, gas exchange, photosynthetic pigments content and accumulation of organic solutes. The results allow us to infer that the dry weight of leaf photosynthesis, carboxylation efficiency and proline content in root are good indicators of the physiological behavior of jatobá seedlings grown under suppression of N, P and K. It was also observed that N was the most limiting macronutrient of the growth of jatoba plants. At the end of the experiment, it is suggested we the nutritional requirement follows the decreasing order of N > P > K.

Keywords: Suppression of N, P and K; jatobá; physiological responses; Nutrient Solution.

¹Doutor em Ciências Florestais. UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos – 52171-900 – Recife, PE. E-mail: hugohcnascimento@gmail.com

²Mestre em Genética, Doutoranda em Biotecnologia. RENORBIO – Rede Nordeste de Biotecnologia / Universidade Estadual do Ceará. Av. Paranjana, 1.700 – Campus do Itaperi – 60740-000 – Fortaleza. E-mail: cinthya.m.pacheco@gmail.com

³Mestre em Ciências do Solos, Doutoranda em Ciências do Solos. UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos – 52171-900 – Recife, PE. E-mail: danubiaramosm@gmail.com

⁴Professora Doutora. UFS – Universidade Federal de Sergipe - Departamento de Biologia - Campus São Cristóvão. Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze – 49100-000 – São Cristóvão, SE. E-mail: elizaciriaco@gmail.com

⁵Professora Doutora. UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco - Departamento de Biologia. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos – 52171-900 – Recife, PE. E-mail: rjmansur1@gmail.com

INTRODUÇÃO

As plantas, em ambiente natural, estão submetidas a diversas condições de estresses que comprometem seu metabolismo. Esses por sua vez, induzem uma série de alterações bioquímicas, fisiológicas, celulares e anatômicas no vegetal, para tolerá-los ou até mesmo evitá-las (NOGUEIRA et al., 2005).

Em virtude da sua ampla distribuição geográfica e vasta adaptação a ambientes com diferentes características edafoclimáticas, o jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) tem sido alvo de muitos estudos, dentre as várias espécies arbóreas nativas do Brasil, (CARVALHO et al., 1994, 2003; DUBOC et al., 1996; MATHEUS et al., 2011).

O jatobá é uma espécie pertencente à Família Leguminosae e a subfamília Caesalpinioideae; caracteriza-se por ser uma árvore semidecídua oportunista (heliófita ou esciófita), seletiva xerófita. No Brasil é amplamente distribuída ocorrendo naturalmente desde o Piauí até o Norte do Paraná, na floresta latifoliada semidecídua, percorrendo cerrados, caatingas, florestas equatoriais e tropicais. Sendo o tipo de ecossistema um fator preponderante na densidade de indivíduos da espécie (CARVALHO, 1994, 2003).

Na sucessão florestal, o jatobá é considerado uma espécie climática (CARVALHO, 1994, SANTOS, 2002; COSTA, 2004; GODOY, 2007), típica de dossel de floresta madura e primária (SANTOS, 2002; CARVALHO FILHO, et al., 2003; COSTA 2004).

Em seus estudos, Lee e Langenheim (1975) afirmaram que o jatobá é pouco exigente em fertilidade e umidade de solo, fato corroborado por Duboc et al. (1996).

Dentre os elementos minerais essenciais as plantas, o Nitrogênio (N) apresenta destaque por estar diretamente envolvido no crescimento e desenvolvimento (vegetativo e reprodutivo) das plantas. Como o período de maior desenvolvimento são as primeiras fases da vida da planta, atribuem-se a essas fases o período de maior absorção e metabolização de nitrogênio. A carência desse elemento é considerada um fator deletério a qualquer ecossistema, pois são observadas drásticas reduções nos processos de produção de biomassa (SILVA et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2012). Quanto ao Fósforo (P), Sanchez (2007); Amtmann e Blatt (2009) afirmam que o mesmo apresenta papel fundamental no metabolismo (fotossíntese e respiração) por estar envolvido nos processos de produção de energia

(ATP), além de atuar na formação da clorofila, divisão celular e auxiliar o desenvolvimento do sistema radicular, conferindo à planta um aumento da absorção de nutrientes do solo. Já o Potássio (K) apresenta várias funções fisiológicas nas plantas como: a ativação enzimática, síntese proteica, atuação na fotossíntese, osmorregulação, além de clara função nos processos de abertura e fechamento estomático (MENGEL, 2007; FAROOQ et al., 2009; SILVA et al., 2011).

Em função dos fatos mencionados, a obtenção de informações relacionadas aos seus aspectos nutricionais, principalmente os efeitos da omissão de nutrientes sobre a fisiologia de espécies lenhosas, tornam-se relevante no processo de formação do conhecimento e podem ser úteis à introdução de espécies florestais em programas de reflorestamento.

Nesses termos, objetivou-se avaliar os efeitos da supressão de N, P e K sobre o crescimento, relações hídricas, trocas gasosas, teores de pigmentos fotossintéticos e acúmulo de solutos orgânicos em mudas de jatobá.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife/PE, situado nas coordenadas (49,2° 00' 8" S e 59,98° 56' 34" O). Utilizou-se mudas, propagadas por sementes, sendo estas coletadas em uma única matriz procedente no município de Garanhuns, agreste pernambucano e área de ocorrência da espécie. As sementes foram escarificadas com auxílio de uma lixa de ferro n° 36, visando à superação da dormência tegumentar (CARVALHO, 2003) e no 30° dia após a semeadura, 24 plântulas foram transplantadas para vasos contendo 9 kg de areia lavada, considerada um substrato inerte (FIRMINO et al., 2008). Após o transplantio, as mudas foram aclimatadas durante 30 dias, sendo regadas em dias alternados com solução nutritiva (n° 2) completa a ½ força iônica (Tabela 1) de Hoagland e Arnon (1950) e água destilada em dias alternados e, para minimizar a evaporação da água do substrato, as superfícies dos vasos foram cobertas com circunferências plásticas.

O delineamento adotado foi inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos: Solução Nutritiva Completa (SNC); supressão de Fósforo (-P); de Nitrogênio (-N) e de Potássio (-K), com 6 repetições selecionadas ao acaso.

Tabela 1. Composição das soluções nutritivas (HOAGLAND; ARNON,1950).**Table 1.** Nutrient solutions composition (HOAGLAND; ARNON, 1950).

Solução estoque (Mol L ⁻¹)	Completa	- N	- P	-K
NH ₄ H ₂ PO ₄	-	-	-	1mL
KNO ₃	5mL	-	5mL	-
Ca (NO ₃) ₂	5mL	-	5mL	5mL
MgSO ₄	2mL	2mL	2mL	2mL
K ₂ SO ₄	-	5mL	1mL-	-
KH ₂ PO ₄	1mL	1mL	-	-
CaCl ₂	-	5mL	-	1mL-
Mg (NO ₃) ₂	-	-	-	2mL
NaNO ₃	-	-	-	2mL
Solução Fe – EDTA	1mL	1mL	1mL	1mL
Solução de micronutrientes	1mL	1mL	1mL	1mL

Após a aclimação as plantas passaram a receber apenas as soluções preparadas de acordo com os tratamentos anteriormente citados por um período de 100 dias. A manutenção dos tratamentos nutricionais foi realizada através da aplicação da solução nutritiva específica e água destilada em dias alternados, nos vasos correspondentes até a drenagem da solução.

Diariamente, foram tomadas medidas da temperatura do ar (Tar) e umidade relativa do ar (UR) no interior da casa de vegetação com um termohigrômetro, calculado o Déficit de Pressão de Vapor do ar (DPV), segundo Vianello e Alves (1991). Os dados climáticos durante o período experimental foram: Tar média foi de 31,87°C (27,3°C a 35,5°C), UR média foi de 58,1% (39,7% a 76,67%) e o DPV médio foi de 2,04 kPa (0,88 kPa a 3,48 kPa).

Semanalmente foram mensurados o número de folhas, a altura (cm) da planta e o diâmetro (mm) do caule até o 98º dia após o início dos tratamentos. Para a determinação do número de folhas (NF), as mesmas foram contadas quando totalmente expandidas e transformadas em $\sqrt{x+0,5}$, segundo Zar (1999). Já para avaliação da altura da planta (AP), utilizou-se com uma trena, baseando-se em uma marca permanente feita no caule a 1 cm do solo até a inserção da folha mais jovem. O diâmetro do caule (DC) foi aferido com um paquímetro (precisão de 0,002 mm), sempre na região previamente marcada (1 cm do caule).

A determinação do potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi realizada em folhas completamente expandidas situadas no terço médio superior da planta às 4 h (antemã, $\Psi_{w_{am}}$) e 12 h (Meio dia, $\Psi_{w_{md}}$) em duas épocas de avaliação; 50 e 100 após o início dos tratamentos. Para tanto, as folhas foram destacadas, rapidamente envolvidas em filme plástico e armazenadas em reci-

piente refrigerado. Após a chegada do material no laboratório, procederam-se as determinações utilizando uma câmara de pressão de Scholander (SCHOLANDER et al., 1965).

No final do experimento, ou seja, 100 dias após o início dos tratamentos foram analisadas as trocas gasosas, as quais foram medidas entre 10-13 horas na folha +2, com um analisador portátil de CO₂ a infravermelho (IRGA), ADC, modelo Lci, (Hoddesdon, UK). Foram avaliadas a taxa de fotossíntese (A), a transpiração (E), a concentração de CO₂ intracelular (Ci), a condutância estomática (gs), e temperatura da folha (Tf). Através dos valores de A, Ci, E e gs, foram calculadas a eficiência de carboxilação (A/Ci), a eficiência do uso da água (E/A) e a Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s).

As estimativas, não destrutivas, de clorofila foram expressas em índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), avaliadas com um medidor portátil de clorofila, Konica Minolta, modelo SPAD-502, realizadas nos lóbulos medianos de cada folha. Já para a avaliação da clorofila pelo método destrutivo, 100 mg de matéria fresca das folhas utilizadas na avaliação pelo método não destrutivo foram coletadas, cortadas e colocadas em tubos de ensaio contendo 10 mL de acetona a 80%. Passadas 24 horas foram realizadas as leituras em um espectrofotômetro de marca Biospectro, modelo SP-220, nos comprimentos de onda 663, 645 e 470 nm, relativos às determinações dos valores de clorofila a, b, carotenóides e com esses resultados foi calculada a razão clorofila a/b, bem como a clorofila total seguindo a metodologia proposta por Lichtenthaler e Buschmann (2001).

Ao final do experimento, as plantas tiveram seus órgãos (folha, caule e raiz) separados, acondicionados em sacos de papel e levados a estufa de circulação forçada de ar a 65°C. Ao alcançar

peso constante foram obtidas a Biomassa Seca das Folhas (BSF), dos Caules (BSC), das Raízes (BSR) e Total (BST). De posse desses valores foram calculadas as Alocações de Biomassa (AB), Alocação de Biomassa Foliar (ABF), Alocação de Biomassa do Caule (ABC), Alocação de Biomassa da Raiz (ABR) e a Razão Raiz/Parte Aérea (R/Pa), segundo Benincasa (2003).

Além das grandezas produção e alocação de biomassa, ao término do experimento foram determinados, nas folhas e raízes, o teor de carboidratos solúveis totais pelo método de fenol-ácido sulfúrico (DUBOIS et al., 1956) e prolina livre pelo método da ninhidrina e ácido fosfórico (BATES, 1973).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o software ASSISTAT versão 7.6 beta (2012), sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Todas as alterações fisiológicas causadas pela supressão nutricional foram comparadas com uma condição de referência (SNC), e, de posse dos resultados normalizados, confeccionou-se um gráfico radar da avaliação global das respostas fisiológicas (SILVA et al., 2010). As variáveis fisiológicas estudadas foram distribuídas considerando: Crescimento (NF, AP, DC, BSF, BSC, BSR, BST, R/Pa, ABF, ABC e ABR); Relações hídricas e trocas gasosas ($\Psi_{w_{am}}$ e $\Psi_{w_{md}}$, aos 50° e 100° DAD; A, E, gs, Ci, A/Ci, A/gs, E/A e Tf); **Pigmentos fotossintéticos e Solutos orgânicos** (Cl a, Cl b, Cl Total, Carot, a/b, SPAD, Carb Folha e Raiz; e Prol Folha e Raiz). Após normalização dos dados e confecção dos gráficos, realizou-se uma nova análise da variância (WOOLF et al., 2004) onde as variáveis fisiológicas que apresentaram maiores contrastes estatísticos foram marcadas com um asterisco (*). As variáveis marcadas foram agrupadas dando origem ao gráfico “**Descritores fisiológicos em destaque**” sendo remarcadas com dois asteriscos (**) (WOOLF et al., 2004) as variáveis que apresentaram os valores mais expressivos de variâncias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A supressão de N, P e K afetou significativamente ($P < 0.01$) o crescimento vegetativo das mudas de jatobá. Dentre os tratamentos aplicados, a supressão de nitrogênio e de fósforo provocaram maiores reduções nas variáveis avaliadas.

O número de folhas diferiu estatisticamente a partir do 42° dia após o início dos tratamen-

tos (Figura 1A) e ao final do experimento as reduções em relação ao tratamento SNC, foram na ordem de 38%, 33% e 16% para os tratamentos -N, -P e -K respectivamente.

A altura da planta foi à variável mais sensível à supressão de N e P (Figura 1B), uma vez que desde o 35° dia de avaliação foram observadas reduções na altura das plantas dos tratamentos -N e -P em relação ao SNC ($P < 0,01$). A supressão de potássio induziu um aumento na altura das plantas, diferindo significativamente dos demais tratamentos, com incremento de 18%, 40% e 52% em relação aos tratamentos SNC, -P e -N, respectivamente. Uma possível explicação para este fato deve-se ao acúmulo de potássio no período de aclimatação, quando as mudas receberam SNC e como a demanda deste elemento é pequena, a supressão não foi sentida pelas mudas.

Renó et al. (1993) aplicando a mesma técnica da omissão de nutrientes em solução nutritiva, concluíram que a ausência de N e P foram extremamente limitantes ao crescimento em altura do cedro (*Cedrela fissilis* Vell.); do pau-de-jacaré (*Piptadenia gonoacantha* Mart.); do pau-ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart.) e da canafístula (*Senna multijuga* Rich.), enquanto que o K não se mostrou limitante. Os autores concluíram que as referidas espécies apresentam baixo requerimento para este nutriente, o que pode ter ocorrido também com as mudas de jatobá.

O diâmetro do caule das plantas cultivadas com -N, -P e -K apresentaram reduções de 21%, 14% e 20%, em relação ao SNC, respectivamente (Figura 1C), sendo a variável biométrica menos afetada pelos efeitos da supressão nutricional, cujas reduções só foram possíveis de se observar a partir do 70° dia. Os resultados encontrados no presente estudo se assemelham aos obtidos por Duboc et al. (1996) e Matheus et al. (2011) estudando os efeitos da omissão de macronutrientes em jatobá, onde as plantas sob omissão de K apresentaram-se maiores em altura. Especialmente no que se refere ao K, uma vez que os autores verificaram caules mais finos em função da menor lignificação das células presentes nos mesmos.

Constatou-se ao final do experimento que os a ausência de N, P, K influenciaram diretamente o crescimento vegetativo das mudas de jatobá. Isso pôde ser observado em todas as variáveis biométricas. Em concordância, Venturin et al. (1999) verificaram que plantas de *Peltophorum dubium* (Spreng.) apresentaram elevada

exigência nutricional, afirmando que a falta dos nutrientes P e N foi limitante ao crescimento dessa espécie. No entanto, Duboc et al., (1996) trabalhando com mudas de jatobá, afirmaram que a omissão de macronutrientes não afetam o crescimento e classificam a mesma como uma espécie pouco responsiva. Comportamento semelhante foi relatado por Braga et al. (1995) que, estudando os efeitos da supressão de nutriente em peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg), concluíram que as plantas não tiveram o crescimento afetado pelas omissões

de N, P e K durante o período avaliado. Os autores justificaram tal comportamento citando o trabalho realizado por Clarkson (1985), que assegurou que plantas de crescimento lento, como é o caso do jatobá (LEE; LANGENHEIM, 1975), são menos sensíveis às mudanças nutricionais.

Concordando com os resultados obtidos no presente estudo, Braga et al. (1995) em ensaio com falta de nutrientes concluíram que acácia (*Acacia mangium* Willd.) e a pereira (*Platycyamus regnellii* Benth.) demonstraram sensibilidade a omissão de N e P.

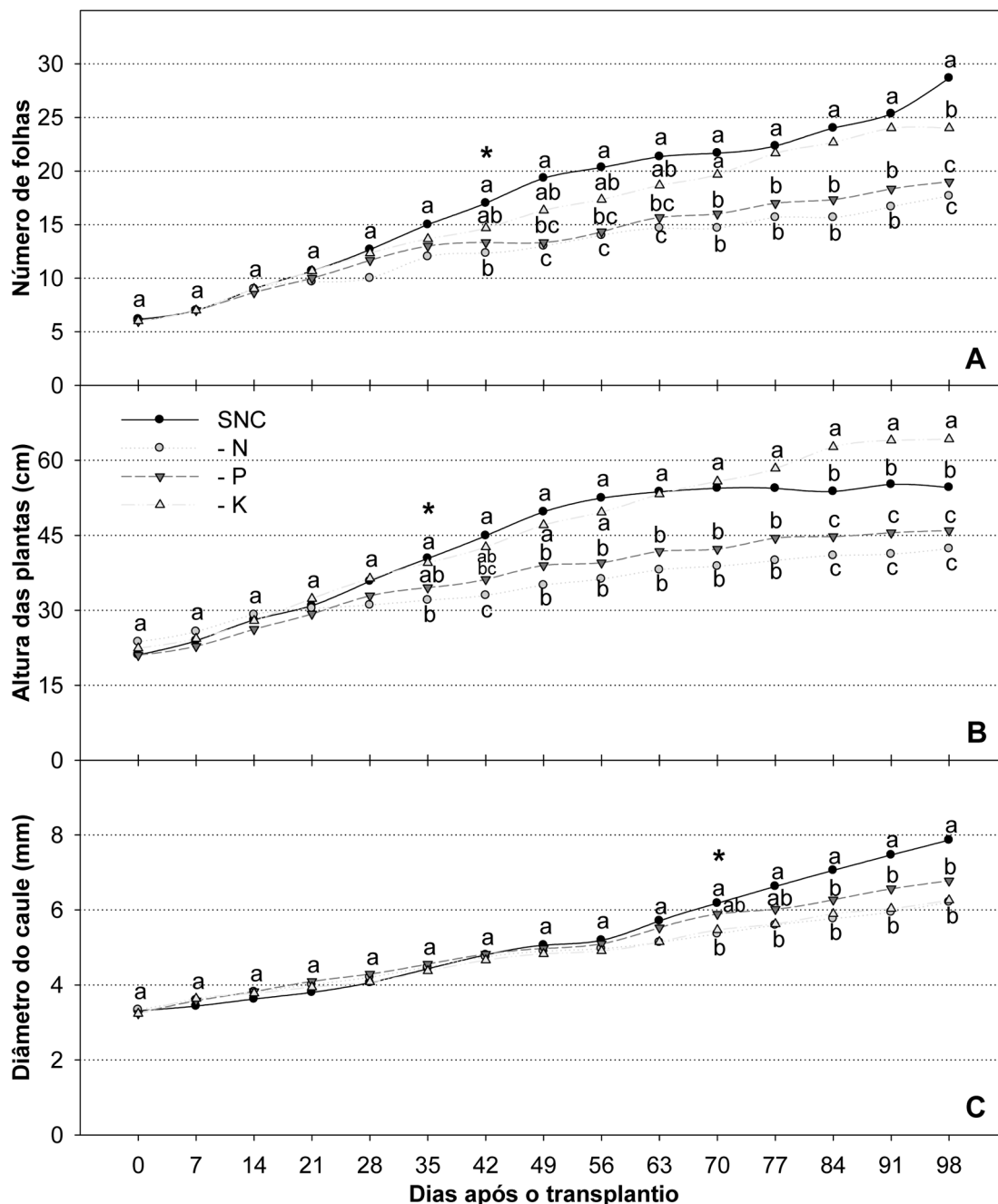


Figura 1. Número de folhas (A), altura da planta (B) e diâmetro do caule (C) de mudas de jatobá submetidas à supressão de N, P e K. Letras iguais não diferem significativamente ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey e o asterisco (*) representa o momento em que ocorreu a diferença estatística.

Figure 1. Number of leaves (A), plant height (B) and stem diameter (C) of jatobá seedlings submitted to suppression of N, P and K. Same letters do not differ significantly ($P < 0.05$) among themselves by the Tukey test and the asterisk (*) represents the moment of occurrence of the statistical differentiation.

A omissão dos macronutrientes mais exigidos pelo vegetal (N, P, K) comprometeu significativamente ($P < 0,01$) a produção e alocação de biomassa seca das plantas. Dentre os tratamentos, a deficiência de nitrogênio gerou maiores reduções na Biomassa Seca da Folha (BSF - Figura 2A), Caule (BSC - Figura 2B), Raiz (BSR - Figura 2C) e Total (BST - Figura 2D), que a omissão dos demais nutrientes (-P, -K).

As folhas apresentaram as maiores reduções de biomassa em relação aos demais órgãos (61%, 45% e 25%, para os tratamentos -N, -P e -K, respectivamente) devido à supressão dos nutrientes. Comportamento similar foi observado na BSC, onde as maiores reduções foram observadas nos tratamentos -N (47%) e -P (42%) em relação ao tratamento SNC. Quanto à BSR, as maiores reduções (46%) foram observadas na ausência de nitrogênio, em relação ao tratamento SNC, esse por sua vez não apresentou diferença significativa na BSR para os tratamentos -P e -K.

Um fato que merece ser destacado são os altos valores de relação R/Pa ($P < 0,05$), apresentados pelo tratamento -P que promoveu um incremento de 66,1% em relação ao tratamento SNC (Figura 2E). Na Alocação de biomassa (AB - Figura 2F) para os órgãos, constatou-se que independente do tratamento, as plantas alocaram mais Biomassa Seca para as Raízes ($P < 0,01$) que nos demais órgãos. De acordo com os resultados obtidos, observou-se que a omissão de fósforo promoveu uma maior ABR ($P < 0,01$) em relação aos demais tratamentos, em função dos valores mais altos de BSR associados a baixos valores de BSF e BSC apresentados pelo referido tratamento. Por outro lado, observou-se que apenas o tratamento -P apresentou reduções para a ABC, comprovando que as plantas submetidas à ausência de P priorizam a alocação de biomassa para a raiz em detrimento dos outros órgãos. Contudo, ao analisar os órgãos separadamente, observou-se que a ABF não foi afetada pela omissão de N, P e K.

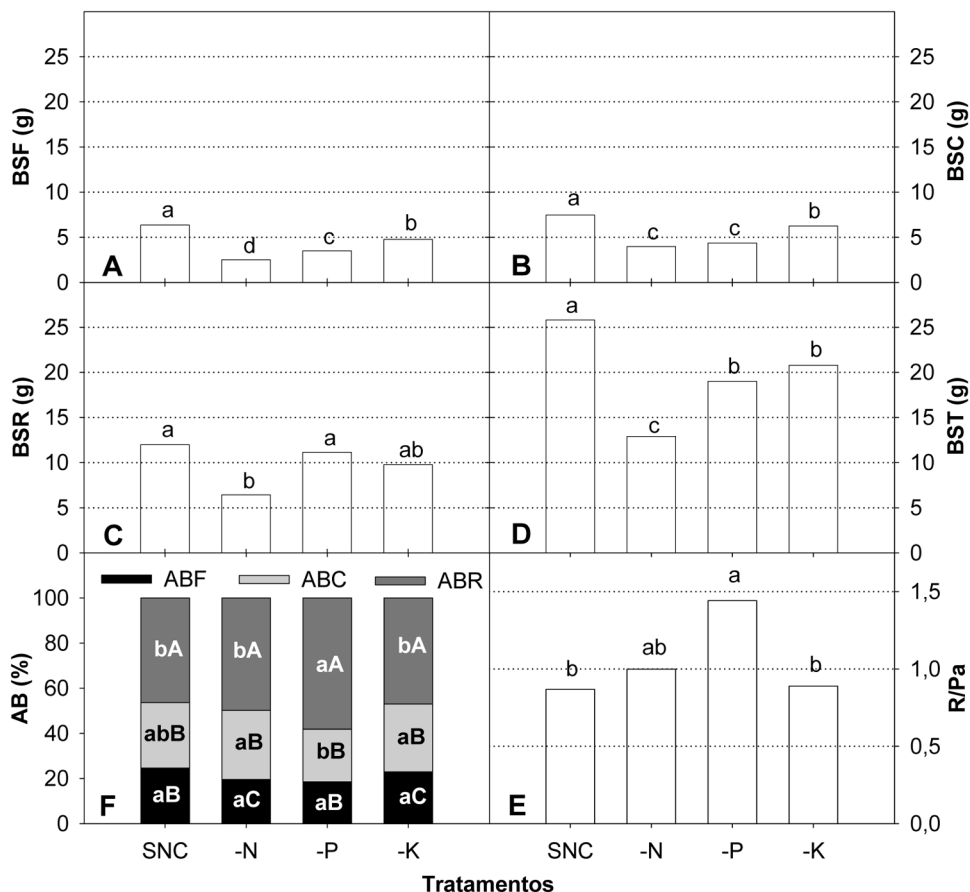


Figura 2. Biomassa Seca da folha (BSF - A), do Caule (BSC - B), da Raiz (BSR - C), Total (BST - D), Alocação de Biomassa (AB - F) e razão Raiz / Parte Aérea (R/PA - E) em mudas de jatobá submetidas à supressão de N, P e K. Letras iguais não diferem significativamente ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. Para a AB (F), letras maiúsculas comparam a alocação de biomassa em cada coluna e minúsculas comparam os tratamentos.

Figure 2. Dry Leaf Biomass (DLB - A), Stem (DSB - B), Root (DRB - C), Total (DTB - E), Biomass Allocation (BA - F) and Root to Shoot Ratio (RSR - E) of jatobá seedlings submitted to suppression of N, P and K. Different letters denote statistical difference by Tukey's test ($P < 0.05$) among treatments. For BA (F), uppercase compare the biomass allocation to each organ and lowercase compare treatments.

Duboc (1996), trabalhando com nutrição de jatobá verificaram que as plantas sob omissão de K apresentaram maiores valores de biomassa seca da parte aérea. Já Barroso et al. (2005) trabalhando com *Tectona grandis* observaram que o tratamento com omissão de nitrogênio propiciou uma redução drástica no crescimento, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho, haja vista que o crescimento vegetativo é diretamente influenciado pela disponibilidade e assimilação de nitrogênio, sendo o mesmo um fator preponderante para o crescimento de qualquer planta (BENINCASA, 2003; BARROSO et al., 2005).

Quanto aos altos valores de razão raiz/parte aérea (R/Pa) verificados no tratamento -P, estes foram diretamente influenciados pelos incrementos na BSR e ABR, apresentados pelo tratamento. Uma vez que, em ambas, o equilíbrio entre partição e alocação da biomassa pode garantir maior plasticidade adaptativa a ambientes de baixa fertilidade (CHAPIN III, 1980).

A supressão de N, P e K exerceu pouca influência sobre as relações hídricas das mudas de jatobá.

Antes do amanhecer, o potencial hídrico foliar (Ψ_w) não diferiu entre os tratamentos, nem entre as épocas (Figura 3A). No entanto, após 100 dias de cultivo sob supressão de nutrientes (Figura 3B) o Ψ_w avaliado ao meio-dia apresentou diferença significativa ($P < 0,01$) entre os tratamentos, onde as plantas cultivadas com -P apresentaram valores maiores (-0,92 MPa), e o tratamento -K apresentou o menor valor (-1,88 MPa) de Ψ_w di-

ferindo significativamente dos demais tratamentos. Também inferiores ao tratamento -P, os tratamentos -N e SNC não diferiram entre si.

Os resultados comprovam que no 100° dia as condições climáticas adversas impostas pelo DPV afetaram significativamente as relações hídricas das plantas do tratamento -K no horário de maior demanda evaporativa (12 h). Uma explicação para este evento deve-se a atuação do K no controle estomático sendo a sua omissão, fator restritivo ao controle da abertura e fechamento dos estômatos, promovendo o dessecação excessivo com consequente diminuição do Ψ_w quando há um aumento da transpiração devido ao alto do DPV.

A participação do K no controle estomático foi proposta por S. Imamura em 1943, que chamou esse processo de "Hipótese do fluxo de K" ou "Hipótese da regulação estomática hidroativa" (MENGEL, 2007), e se resume na migração de K para as células guardas visando à manutenção do potencial osmótico para a promoção da turgescência celular e abertura estomática (HOPKINS, 2000). Contudo, Taiz e Zeiger (2013) afirmaram que estudos recentes revelam que a sacarose, além do K, são responsáveis pelo movimento estomático. A partir desses relatos atualmente atribui-se ao K a abertura dos estômatos no início da manhã e o fechamento no final da tarde está relacionado com o decréscimo no conteúdo de sacarose nas folhas.

Por fim, a similaridade entre os valores do $\Psi_{w_{am}}$ sugerem que a supressão de N, P e K não restringiu a reidratação das plantas e recupera-

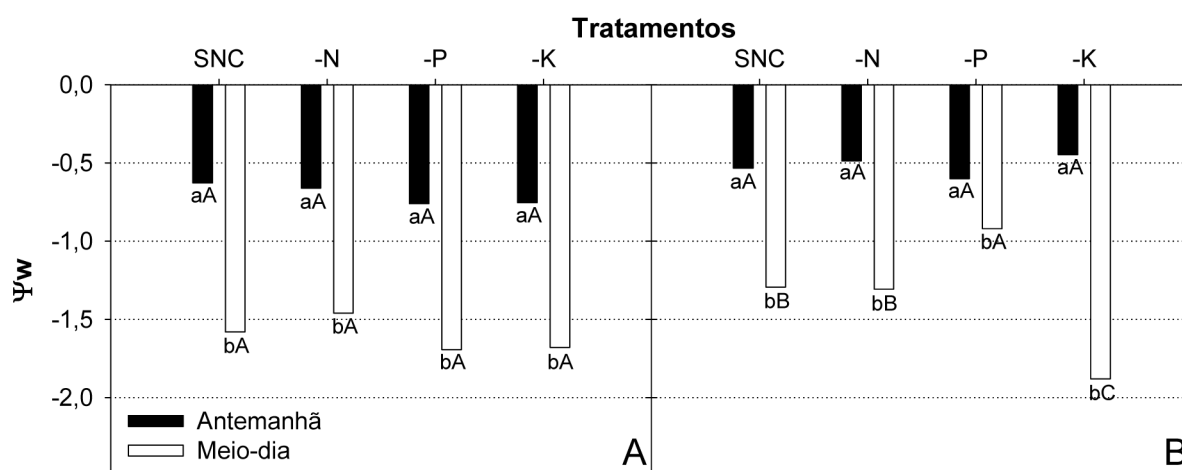


Figura 3. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) de mudas de jatobá submetidas à supressão de N, P e K, determinados às 4 h (antemanhã) e 12 h (meio dia) avaliados aos 50 (A) e 100 (B) dias após o início dos tratamentos. Letras maiúsculas comparam os tratamentos e minúsculas os horários de avaliação. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figure 3. Leaf water potential (Ψ_w) in seedlings jatobá submitted to suppression of N, P and K, determined at 4 h (predawn) and 12 pm (mid-day) on two evaluation periods, 50 (A) and 100 (B) days after initiation of treatment, uppercase and lowercase letters compare treatments assessment schedules, different letters denote statistical difference by Tukey's test ($P < 0.05$) among treatments.

ção da turgescência após os períodos de maior demanda evaporativa, visto que as plantas conseguiram elevar os valores do $\Psi_{w_{am}}$ aos das plantas do tratamento SNC.

Exceto para o tratamento -K pode-se afirmar que a supressão de N e P promoveu reduções significativas ($P < 0,01$) na maioria das variáveis de trocas gasosas analisadas. Para as plantas cultivadas com supressão de nitrogênio, essas

reduções foram observadas na fotossíntese (Figura 4A), transpiração (Figura 4B), condutância estomática (Figura 4D), na eficiência de carboxilação (Figura 4E), eficiência do uso da água (Figura 4F) e eficiência intrínseca do uso da água (Figura 4H). De maneira menos restritiva, o tratamento -P apresentou reduções nos valores da fotossíntese (Figura 4A) e eficiência de carboxilação (Figura 4E).

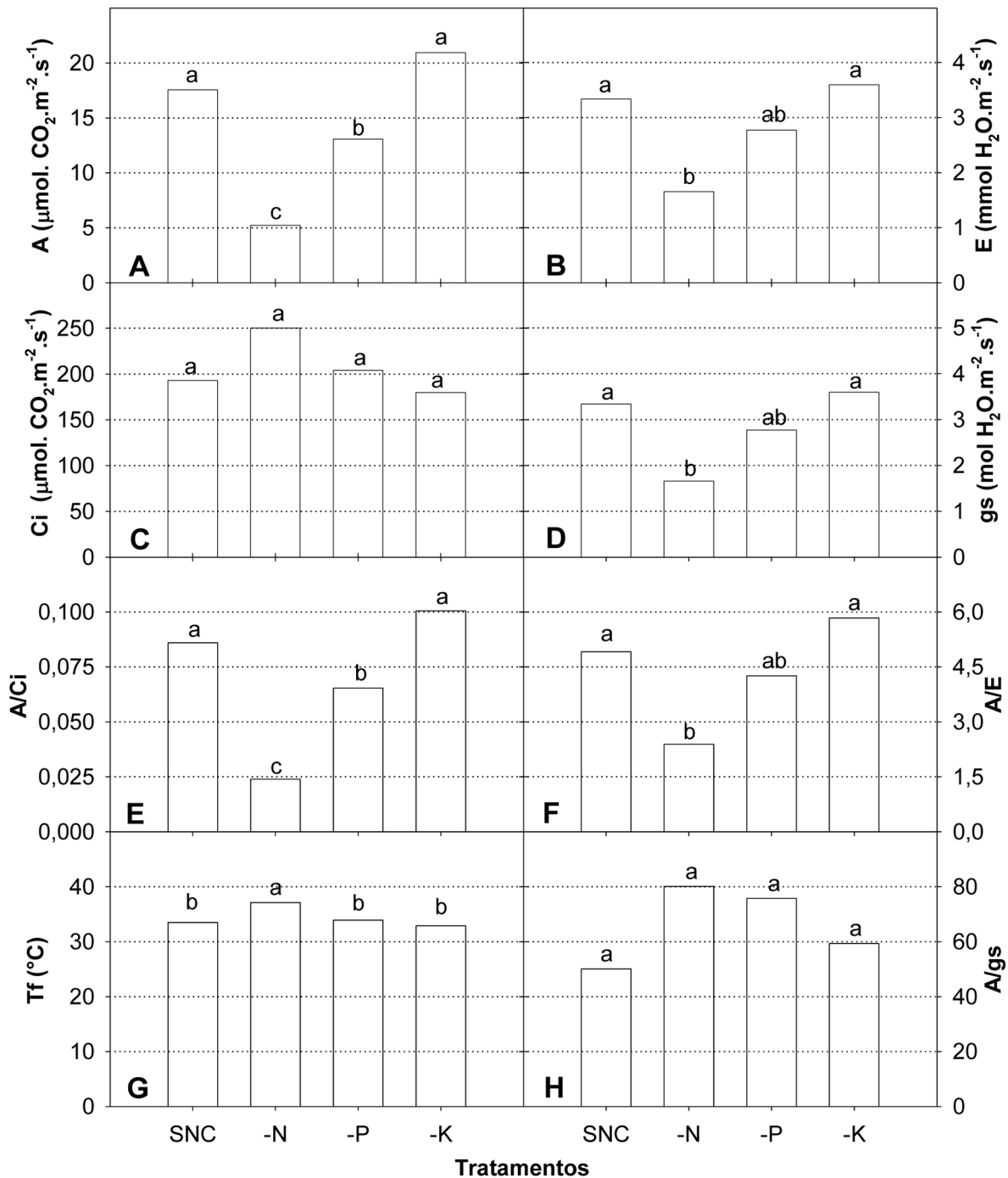


Figura 4. Fotossíntese (A), transpiração (B), concentração interna de CO_2 (C), condutância estomática (D), eficiência de carboxilação (E), eficiência do uso da água (F), temperatura foliar (G) e eficiência intrínseca do uso da água (H) em mudas de jatobá submetidas à supressão de N, P e K. Letras iguais não diferem significativamente ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Figure 4. Photosynthesis (A), transpiration (B), internal CO_2 concentration (C), stomatal conductance (D), carboxylation efficiency (E), water use efficiency (F), leaf temperature (G) and intrinsic efficiency of use water (H) in jatobá seedlings submitted to suppression of N, P and K. Different letters denote statistical difference by Tukey's test ($P < 0.05$) among treatments.

Na temperatura foliar a análise estatística evidenciou que a ausência de nitrogênio acarretou em um aumento significativo ($P < 0,01$) na temperatura foliar em relação aos demais tratamentos (Figura 4G). Esse aumento de temperatura pode ter sido ocasionado pela redução da transpiração (Figura 4B), consequência da redução na condutância estomática (Figura 4D), demonstrando uma menor abertura dos estômatos, o que restringe a dissipação de calor juntamente com a perda de vapor d'água (TAIZ; ZEIGER, 2013). As únicas variáveis que não diferiram em relação aos tratamentos foram a concentração interna de CO_2 e a eficiência intrínseca no uso da água (Figuras 4C e 4H).

Matheus et al. (2011) estudando mudas de jatobá, afirmam que a omissão de macronutrientes causam distúrbios nutricionais que se manifestam como sintomas de deficiência característicos, como a redução do crescimento e a presença de clorose generalizada. No presente estudo isso foi comprovado, uma vez que a supressão de N

reduziu o crescimento das mudas (Figura 1) e a partição e alocação de biomassa seca (Figura 2) das plantas submetidas à falta de N. Como 95% da biomassa seca de uma planta é formada a partir do oxigênio, hidrogênio e carbono, sendo este último fixado fotossinteticamente, a redução nessa fixação restringiu o crescimento em função da diminuição da assimilação do carbono via fotossíntese (CHAVES et al., 2002).

Os teores de clorofila a (Figura 5A), clorofila b (Figura 5B), carotenóides (Figura 5C) e clorofila total (Figura 5D) apresentaram comportamento similar, onde os maiores valores ($P < 0,01$) foram observados no tratamento SNC (13,4; 21,1; 5,6; 19,4 $mg.g^{-1}$ BF, para clorofila a, b e total, respectivamente) em relação aos demais tratamentos. Os tratamentos com supressão de fósforo e potássio não diferiram estatisticamente entre si, no entanto, a ausência de nitrogênio promoveu reduções nos teores de clorofila a, b, carotenóides e clorofila total em torno de 63,5%, em relação ao tratamento controle.

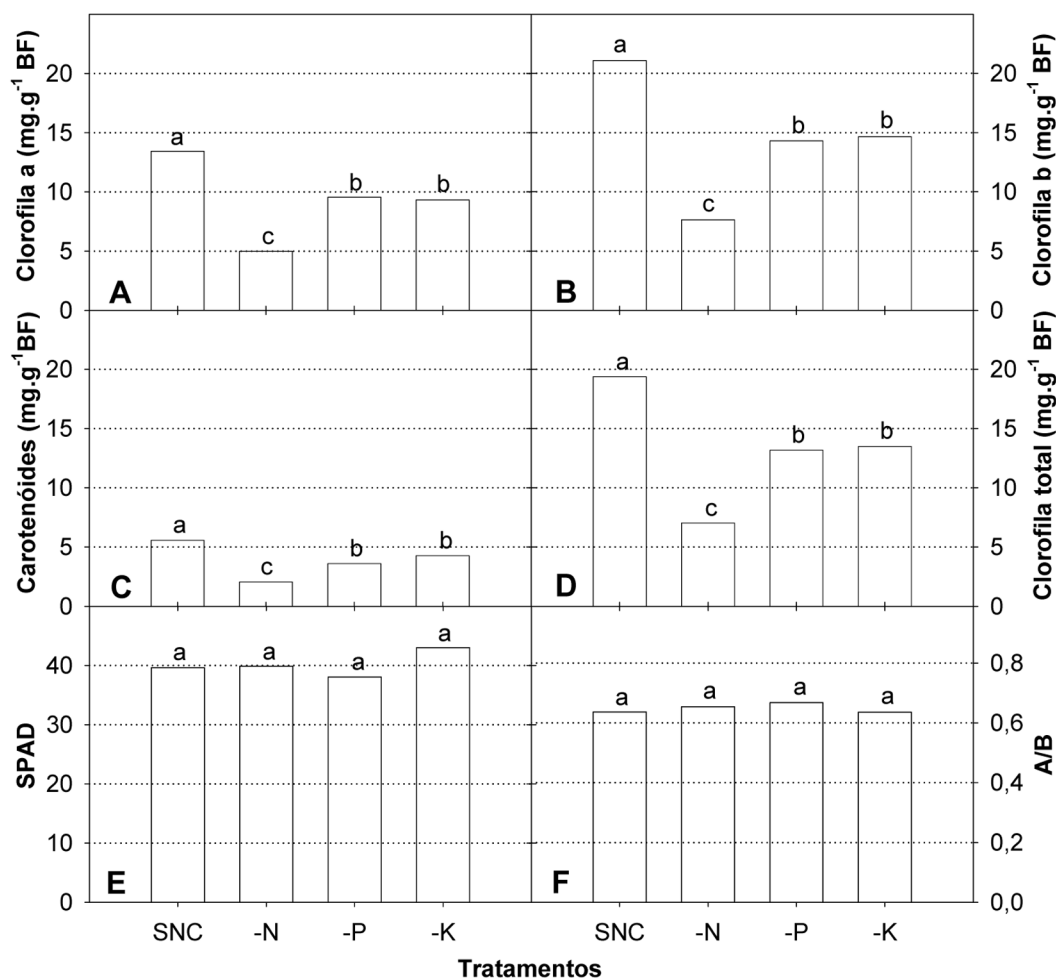


Figura 5. Valores médios dos teores de clorofila a (A), b (B), Total (D), carotenóides (C), SPAD (E) e razão clorofila a/b (F) em mudas de jatobá submetidas à supressão de N, P e K. Letras iguais não diferem significativamente ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Figure 5. Mean values of chlorophyll a (A), b (B) Total (D), carotenoids (C), SPAD (E) and the ratio of chlorophyll a/b (F) in jatobá seedlings submitted to suppression of N, P and K. Different letters denote statistical difference by Tukey's test ($P < 0.05$) among treatments.

Em resposta à omissão de nitrogênio, também foram visualizadas reduções nos teores de pigmentos fotossintéticos em diversas espécies florestais, como *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng. K. Schum) (SALVADOR et al., 1994), *Hymenaea courbaril* L. (DUBOC et al., 1996; MATHÉUS et al., 2011) *Myracrodruon urundeuva* (Allemão) (MENDONÇA et al., 1999), *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) (MARQUES et al., 2004), *Tectona grandis* (L.f.) (BARROSO et al., 2005) e *Moringa oleifera* (VIEIRA et al., 2008) que resultou na clorose das folhas mais jovens, evoluindo para uma clorose generalizada e início de necrose nas folhas mais velhas, concordando com os resultados observados no presente estudo.

Lehninger et al. (1993) afirma que além de ser constituinte das clorofilas, o N está envolvido nos processos de síntese proteica, especialmente a Rubisco (Ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase/oxigenase) responsável pela fixação de CO₂, representando aproximadamente 50% das proteínas solúveis contidas nas folhas de plantas C₃. Em adição, Vieira et al. (2008) afirmam que após a instauração da deficiência de N ocorre uma rápida modificação no perfil hormonal da planta, ocasionando a indução precoce da senescência foliar, uma vez que o N é um elemento chave no processo de síntese de todas as proteínas, o que torna a sua deficiência mais intensa quando comparada aos demais elementos. Os mesmos autores asseguram que as reduções no crescimento são decorrentes

da omissão de N e são causadas primariamente por uma forte redução na atividade fotossintética, como foi verificado no presente estudo nas mudas de jatobá. No entanto, os valores médios do índice SPAD e da razão clorofila a/b não diferiram significativamente em relação aos tratamentos determinados no presente estudo.

Os resultados evidenciaram que não houve diferença significativa entre os teores de carboidratos nas folhas, nos tratamentos estudados (Figura 6A). Entretanto, a supressão de P levou a redução dos teores de prolina (Figura 6C) nas folhas, em relação aos demais tratamentos, observando-se a menor média (12,5 μmol. g⁻¹ BF) para este tratamento.

Quanto aos teores de carboidratos na raiz (Figura 6B), a omissão de potássio propiciou maior acúmulo (81%) em relação ao tratamento SNC. Em contrapartida, a ausência de nitrogênio apresentou o menor teor (3,37 μmol. g⁻¹ BF) de prolina livre nas raízes (Figura 6D), tendo como destaque os tratamentos SNC e -K, com os maiores valores médios.

Em *Moringa oleifera*, Vieira et al. (2008) afirmam que as alterações metabólicas (catabolismo predominando sobre síntese) provenientes das deficiências nutricionais, acarretam em hidrólise e transporte via floema, de açúcares, proteínas além de outros compostos orgânicos, em suas formas mais assimiláveis para as regiões de crescimento, especialmente para as raízes.

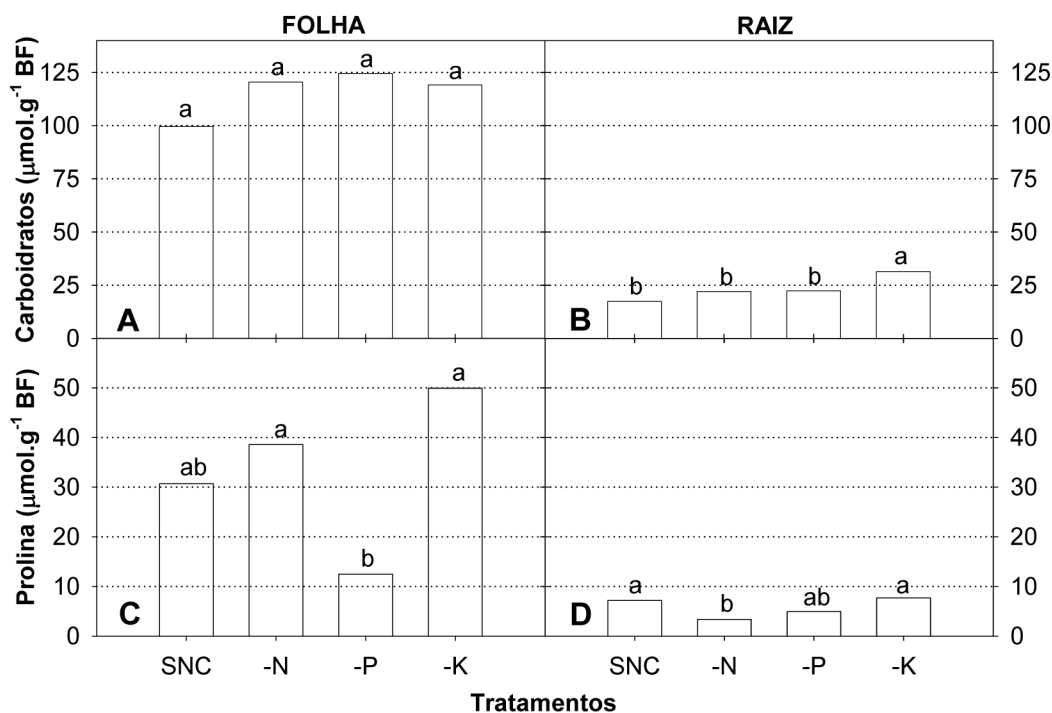


Figura 6. Carboidratos solúveis totais e prolina livre em folhas (A e C) e raízes (B e D) em mudas de jatobá submetidas à supressão de N, P e K. Letras iguais não diferem significativamente ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Figure 6. Soluble carbohydrates and free proline in leaves (A and B) and roots (C and D) in jatobá seedlings submitted to suppression of N, P and K. Different letters denote statistical difference by Tukey's test ($P < 0.05$) among treatments.

Os valores das trocas gasosas semelhantes ao controle (Figura 4) verificados no tratamento -K podem estar associados à elevação dos teores de prolina na folha, uma vez que se atribui à mesma a manutenção da integridade das membranas, primordiais à continuidade das trocas gasosas (LIU et al., 2011).

Após a normalização dos resultados e separação das variáveis em seus respectivos parâmetro

fisiológicos, observou-se que no parâmetro crescimento (Figura 7A) as variáveis de biomassa seca (BSF, BSC, BSR, BST e R/Pa) apresentaram maiores contrastes fisiológicos. Em relação aos parâmetros relações hídricas e trocas gasosas (Figura 7B), o potencial hídrico ao meio-dia aos 100 dias, a fotossíntese, a transpiração, a condutância estomática, a eficiência de carboxilação e a eficiência do uso da água foram os descritores

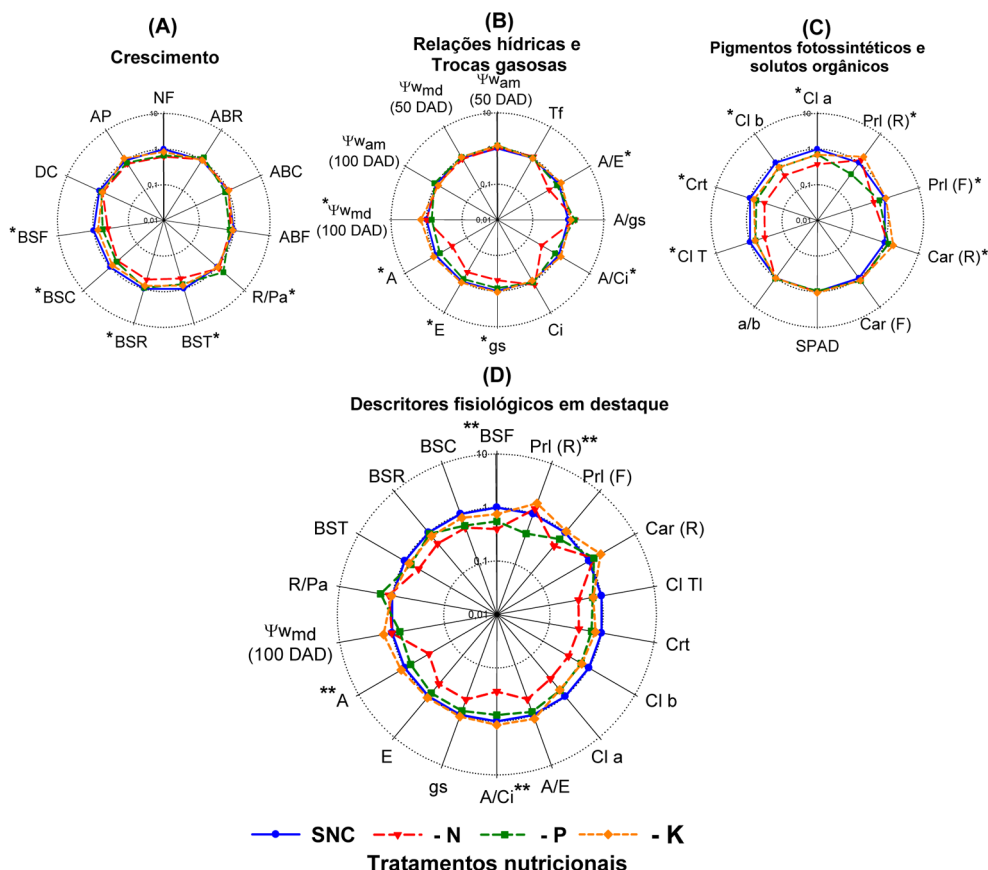


Figura 7. Representação global das respostas fisiológicas mudas de jatobá submetidas à supressão de N, P e K. As variáveis foram agrupadas nos seguintes parâmetros: **Crescimento (A)** – Número de folhas (NF), Altura da planta (AP), Diâmetro do caule (DC), Biomassa Seca das Folhas (BSF), Biomassa Seca dos Caules (BSC), Biomassa Seca das Raízes (BSR), Biomassa Seca Total (BST), Razão Raiz/Parte (R/Pa), Alocação de Biomassa nas Folhas (ABF), Alocação de Biomassa no Caule (ABC) e Alocação de Biomassa na Raiz (ABR); **Relações hídricas e trocas gasosas (B)** – Potencial hídrico foliar antemanhã ($\Psi_{w_{am}}$) e ao meio dia ($\Psi_{w_{md}}$) aos 50 e 100 dias após o início dos tratamentos, Fotossíntese (A), Transpiração (E), Condutância estomática (gs), Concentração de CO₂ intracelular (Ci), Eficiência de carboxilação (A/Ci), Eficiência intrínseca do uso da água (A/gs), Eficiência do uso da água (E/A) e Temperatura da folha (Tf). **Pigmentos fotossintéticos e Solutos orgânicos (C)** – Clorofila a (Cl a), Clorofila b (Cl b) Clorofila Total (Cl T), Carotenóides (Carot), Razão Clorofila a/b (a/b) e Índice SPAD (SPAD), Carboidratos solúveis totais na Folha (Carb Folha) e Raiz (Carb Raiz), Prolina livre na Folha (Prol Folha) e Raiz (Prol Raiz). As variáveis mais contrastantes foram marcadas com um asterisco (*) e reagrupadas em **Descritores fisiológicos em destaque (D)**, onde as variáveis mais representativas foram remarcadas com dois asteriscos (**). O eixo Y tem uma escala logarítmica.

Figure 7. Global representation of the physiological responses of seedlings jatobá submitted the suppression of N, P and K. The variables were grouped in the following parameters: **Growth (A)** – Number of Leaves (NL), plant height (PH), stem diameter (SD), Dry Leaf Biomass (DLB), Stem (DSB), Root (DRB), Total (DTB), Biomass Allocation (BA) and Root to Shoot ratio (RSR). **Water relations and gas exchange (B)** - Leaf water potential $\Psi_{w_{pd}}$ and $\Psi_{w_{md}}$ on two evaluation periods, 50 and 100 days after initiation of treatment, Photosynthesis (A), Transpiration (E), Internal CO₂ concentration (IC), Stomatal conductance (gs), Carboxylation efficiency (A/IC), Water use efficiency (A/E), Leaf temperature (TI) and Intrinsic efficiency of use water (A/gs). **Photosynthetic pigments and organic solutes (C)** – Chlorophyll a (Cl a), b (Cl b) Total (Cl t), Carotenoids (Carot), SPAD and the Ratio of chlorophyll a/b, Soluble carbohydrates in the leaf (Carb Leaf) and root (Carb Root) and Free proline in leaves (Prol Leaf) and roots (Prol Root). The variables were more contrasting marked with an asterisk (*) and regrouped in **Descriptors physiological Featured (D)**, where the most representative variables were reorganized receiving two asterisks (**). The Y axis has a logarithmic scale.

fisiológicos em destaque. Já para os pigmentos fotossintéticos e solutos orgânicos (Figura 7C), apenas a relação clorofila a/b, o índice SPAD e o teor de carboidratos nas folhas não foram considerados destaque.

De posse dos descritores fisiológicos em destaque (Figura 7D), constatou-se que as variáveis fisiológicas que apresentaram maior contraste foram: a biomassa seca das folhas, a fotossíntese, a eficiência de carboxilação e os teores de prolina na raiz, sendo estas variáveis, as mais sensíveis às omissões de N, P e K dentre as demais variáveis analisadas.

Lee; Langenheim (1975), Duboc et al. (1996) afirmam que o jatobá é pouco exigente em relação à fertilidade do solo, no entanto, analisando os resultados obtidos no presente estudo, observa-se que as plantas submetidas a omissão de N e P apresentaram sensíveis reduções as variáveis avaliadas, indicando haver maior requerimento desses macronutrientes, fato comprovado por Mathews et al. (2011) estudando a referida espécie.

Por fim, dentre dos elementos estudados, o N foi considerado o mais limitante ao desenvolvimento de plantas de jatobá, sugerindo que o requerimento nutricional quanto aos macronutrientes obedeça à ordem decrescente de: N>P>K.

CONCLUSÕES

- Observou-se que o N foi o macronutriente mais limitante ao desenvolvimento de plantas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), sendo necessária uma atenção especial antes de levar a muda ao campo;
- Das variáveis estudadas, recomenda-se averiguar a biomassa seca das folhas, fotossíntese, eficiência de carboxilação e os teores de prolina na raiz em estudos com omissão de N, P e K;
- Conclui-se que o requerimento nutricional segue a ordem N>P>K;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMTMANN, A.; BLATT M. R. Regulation of macronutrient transport. *New Phytologist*, Oxford, v. 181, n. 1, p. 35–52, 2009.

BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; PEREIRA, R. C.; MENDONÇA, A. V. R.; SILVA, L. C. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 671-679, 2005.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BRAGA, F. A., VALE, F. R.; VENTORIM, N.; AUBERT, E.; LOPES, G. A. Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 18-31, 1995.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003, v. 1.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA/CNPE, 1994. 640 p.

CARVALHO FILHO, J. L. S.; ARRIGONI, M. F.; FITZGERALD, A.; ALVES, M. S. Produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, recipientes e composições de substratos. *Cerne*, Lavras, v. 9, n. 1, p. 109-118, 2003.

CHAPIN III, F. S. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology Systematics*, Palo Alto, v. 11, p. 233-260, 1980.

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, 1985, Ilhéus. *Anais...* Ilhéus: CEPL/SBCS, 1985. p. 45-75.

COSTA, P. M. F. **Efeitos da alta concentração de CO₂ sobre o crescimento e o estabelecimento de plântulas do jatobá de mata *Hymenaea courbaril* L. VAR. *stilbocarpa* (HEYNE)**. 2004. 88 p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. Campinas, 2004.

DUBOC, E.; VENTORIM, N.; VALE, F. R.; DAVIDE, A. C. Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. Lee et Lang.). *Cerne*, Lavras, v. 2, n. 1, p. 138-152, 1996.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, Washington, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009.
- FIRMINO, L. E.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; TIBURCIO, R. A. S. Sorção do imazapyr em solos com diferentes texturas. **Planta daninha**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 395-402, 2008.
- GODOY, J. R. L. **Ecofisiologia do estabelecimento de leguminosas arbóreas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, sob atmosfera enriquecida com CO₂; uma abordagem sucessional**. 2007. 113 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2007.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. California: College of Agriculture, University of California, 1950. 32 p.
- LEE, Y. T.; LANGENHEIM, J. H. **Systematics of the genus *Hymenaea* (Leguminosae: Caesalpinioideae, Detarieae)** California: University of California, 1975, 190 p. (Publication in Botany, v. 69).
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Principles of Biochemistry**. New York: Worth Publishers, 1993. 1013 p.
- LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2001. F4.3.1-F4.3.8
- LIU, C., LIU, Y., GUO, K., FAN, D., LI, G., ZHENG, Y., YU, L.; YANG, R. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 71, n. 2, p. 174-183, 2011.
- MARQUES, T. C. L.; CARVALHO, J. G.; LACERDA, M. P. C.; MOTA, P. E. F. Crescimento inicial do paricá sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 184-195, 2004.
- MATHEUS, M. T.; AMARAL, J. A. T.; SILVA, D. G. G.; NEVES, D. M.; PIZZOL, E. C. S.; SOUSA, F. C.; SANTI, G. C.; GUARIZ, H. R.; LIMA, K. A.; HOFFMANN, R. G.; Sintomas de deficiência nutricional em Jatobá. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 17, n. 1, p. 89-97, 2011.
- MENDONÇA, A. V. R.; NOGUEIRA, F. D.; VENTURIN, N.; SOUZA, J. S. Exigências nutricionais de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (Aroeira do Sertão). **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 65-75, 1999.
- MENGEL, K. Potassium. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Ed.) **Handbook of Plant Nutrition**, 1.ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2007. p. 91-120.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p. 22-31.
- RENÓ, N. B.; VALE, F. R.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O. Requerimentos nutricionais de quatro espécies florestais nativas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. **Resumos**, Goiânia: SBCS, 1993. p.211-212.
- SALVADOR, J. O.; MURAOKA, T.; ROSSETTO, R.; RIBEIRO, G. de A. Sintomas de deficiências nutricionais em cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) cultivado em solução nutritiva. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 407-414. 1994.
- SANCHEZ, C. A. Phosphorus. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Ed.) **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2007. p. 51-90.
- SANTOS, H. P. **Importância ecofisiológica da reserva de xiloglucano e o controle de sua mobilização em cotilédones de *Hymenaea courbaril* L.** 2002, 137 p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. Campinas, 2002.
- SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965.
- SILVA, E. C., NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, M. A.; ALBUQUERQUE, M. B. Drought Stress and Plant Nutrition. **Plant stress**, v. 5, (Special Issue 1), p. 32-41, 2011.

- SILVA, E. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; FONTENELE, A. V.; RIBEIRO, R. V.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 167, n. 14, p. 1157-1164, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 954 p.
- 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. 30-39, 1999.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 1991. 446 p.
- VIEIRA, H.; CHAVES, L. H. G.; VIÉGAS, R. A. Crescimento inicial de moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob omissão de nutrientes. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 4, p. 51-56, 2008.
- WOOLF, P.; KEATING, A.; BURGE, C.; MICHAEL Y. **Statistics and Probability Primer for Computational Biologists**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. London: Prentice-Hall, 1999. 663 p.

Recebido em 28/06/2013
Aceito para publicação em 08/05/2014