RESPOSTA DE MUDAS DE GUARANÁ À FONTES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA

Ana Caroline de Jesus de Castro[1], Gessica Aline Nogueira dos Santos[2], Josiane Celerino de Carvalho[3], Bianca Araujo Fernandes[4], Adamir da Rocha Nina Junior[5], José Francisco de Carvallho Gonçalves[6] e Flávia Camila Schimpl[7]

RESUMO

O nitrogênio é um nutriente essencial para as plantas, e a forma de nitrogênio fornecido em adubação para as plantas pode interferir positiva ou negativamente no crescimento e produção vegetal. Entre as razões para a baixa produtividade de guaranazeiros no Amazonas, encontra-se a falta de adoção de tratos culturais adequados, como exemplo adubação. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos do tipo de fonte de nitrogênio no crescimento e desenvolvimento de mudas de guaranazeiro. Mudas da cultivar BRS-Marabitana receberam adubação em solução nutritiva, contendo todos os nutrientes essenciais e diferentes proporções de nitrato e amônio na concentração final de 7 mmol L-1 de N, caracterizando-se os tratamentos, sendo: C – controle (sem N); T1 – nitrato 100%; T2 – Nitrato 50% e Amônio 50%; T3 – Amônio 100%. Após 60 dias avaliou-se as trocas gasosas, nutrientes no tecido foliar e teor de metilxantinas e catequinas. O

1 Mestra. Intituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. E-mail: carolinecastro015@gmail.com.

2 Mestra. Doutoranda – Universidade Federal do Amazonas – UFAM. E-mail: gessicaanogueira@gmail.com.

3 Doutora. Bolsista de Pós-Doutorado – Intituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. E-mail: josiane.celerino@gmail.com .

4 Técnica em Agropecuária. Bolsista de Iniciação Científica – IFAM Campus Presidente FIgueiredo. E-mail: b.araujo1107@gmail.com.

5 Doutor. Professor EBTT – IFAM Campus Humaiá. E-mail: adamir.nina@ifam.edu.br

6 Doutor. Pesquisador – Instituto Nacional de Pesquisas da Amzônia. E-mail: jfc@inpa.gov.br.

[7]Doutora. Professora EBTT – IFAM Campus Presidente Figueiredo. E-mail: flavia.schimpl@ifam.edu.br.

7 Doutora. Professora EBTT – IFAM Campus Presidente Figueiredo. E-mail: flavia.schimpl@ifam.edu.br.

tratamento com amônio apresentou maior eficiência fotoquímica (PSII) que os demais, assim como maior concentração de P nas folhas. A fotossíntese das plantas dos tratamentos com fornecimento de nitrogênio foi superior à das plantas do tratamento controle. Bem como as plantas adubadas exclusivamente com nitrato assimilaram mais nitrogênio nas folhas, mas isso não refletiu no acumulo de metilxantinas. Com base nos resultados obtidos não é possível indicar a preferência do guaranazeiro pela fonte N fornecido, sendo necessários estudos complementares considerando diferentes doses e tempo de exposição ao adubo.

Palavras-Chave: *Paullinia cuapana*; Adubação nitrogenada; Metilxantinas.

GUARANA SEEDLINGS RESPONSE TO SOURCES OF NITROGEN FERTILIZATION

ABSTRACT

Nitrogen is an essential nutrient for plants, and the form of nitrogen supplied in fertilization to plants can positively or negatively affect plant growth and production. Among the reasons for the low productivity of guarana trees in the Amazon is the lack of adoption of adequate cultural practices, such as fertilization. Thus, the aim of this work was to evaluate the effects of the type of nitrogen source on the growth and development of guarana tree seedlings. Seedlings of the cultivar BRS-Marabitana received fertilization in a nutrient solution, containing all essential nutrients and different proportions of nitrate and ammonium in the final concentration of 7 mmol L-1 of N, characterizing the treatments, as follows: C - control (without N); T1 – 100% nitrate; T2 – Nitrate 50% and ammonium 50%; T3 – 100% ammonium. After 60 days, gas exchange, leaf tissue nutrients and methylxanthine and catechin content were evaluated. The treatment with ammonium showed a higher photochemical efficiency (PSII) than the others, as well as a higher concentration of P in the leaves. Photosynthesis of plants from treatments with nitrogen supply was higher than that of plants from

control treatment. As well as the plants fertilized exclusively with nitrate assimilated more nitrogen in the leaves, but this did not reflect in the accumulation of methylxanthines. Based on the results obtained, it is not possible to indicate the preference of the guarana tree for the supplied N source, requiring complementary studies considering different doses and time of exposure to the fertilizer.

Keywords: *Paullinia cuapana*; Nitrogen fertilization; Methylxanthines.

INTRODUÇÃO

O guaraná (Paullinia cupana Kuntz var. sorbilis - Sapindaceae) é uma espécie vegetal nativa da região amazônica, e a exploração comercial dos grãos tem elevada significância para o Estado do Amazonas. Devido ao elevado conteúdo de cafeína (2,5 a 6%), um composto secundário da classe das metilxantinas, o guaraná é demando principalmente pela indústria de bebidas não alcoólicas (ATROCH; NASCIMENTO FILHO, 2018; NINA *et al.*, 2021; SCHIMPL *et al.*, 2013; SCHIMPL *et al.*, 2014).

A produtividade dos guaranazais do Amazonas é a menor entre os estados produtores, o que pode estar relacionado a baixa tecnificação e a ausência de tratos culturais, entre eles a adubação e correção dos solos (CARDOSO, 2010; IBGE, 2017). Ainda que as espécies nativas de regiões tropicais apresentem a capacidade de adaptação para desenvolverem-se em solos com elevada acidez e baixa fertilidade natural, diversos estudos indicam que a tolerância à baixa fertilidade não elimina a possibilidade de resposta positiva à fertilização nitrogenada, resultando em incremento significativo de biomassa (CARDOSO *et al.*, 2021; JAQUETTI; GONÇALVES, 2021).

O nitrogênio (N) é o mineral requerido em maior quantidade pelas plantas, ele é necessário para a síntese de uma série de moléculas

essenciais para a sobrevivência e manutenção do organismo vegetal, tais como aminoácidos, proteínas, clorofila, ácidos nucleicos, além de constituir uma variedade de outros metabólitos contendo N em sua estrutura, como os compostos nitrogenados uma classe de moléculas do metabolismo secundário a qual as metilxantinas fazem parte (CORUZZI; BUSH, 2001; MARSCHNER, 2011). Pouco se sabe sobre a influência das variações no ambiente sobre o conteúdo de metilxantinas em plantas. Mas alguns estudos demonstraram a influência da disponibilidade de nitrogênio e luz em maior ou menor cafeína acumulada nos tecidos vegetais (PALUMBO *et al.*, 2007; POMPELLI *et al.*, 2013).

A grande parte do N existente é encontrada na forma molecular na atmosfera, nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) são as formas predominantes de nitrogênio inorgânico absorvido pelas raízes de plantas superiores de ecossistemas agrícolas. Em geral, há espécies que se desenvolvem ou crescem melhor quando supridas apenas com NH_4^+; outras somente com o NO_3^-; enquanto outras respondem melhor quando há uma combinação dessas duas formas. Além disso, existem espécies em que tanto NH_4^+ quanto NO_3^- satisfazem suas demandas fisiológicas e metabólicas. As preferências são intrínsecas as espécies vegetais juntamente com as condições ambientais e podem ser avaliadas principalmente pela biomassa vegetal, produção de rendimento ou quantidade de absorção de N (LI *et al.*, 2013).

Justifica-se a realização desse trabalho a partir da escassez de estudos de adubação em guaranazeiro, com o objetivo de avaliar os ganhos no desenvolvimento de mudas a partir do fornecimento de N na melhor forma de absorção e assimilação para o estabelecimento das plantas. Adicionalmente, os resultados desse trabalho servirão como subsídio para a recomendação de adubação nitrogenada em mudas de guaranazeiro, após outros estudos com dosagem de N e época de aplicação.

METODOLOGIA

Mudas de guaranazeiro da cultivar BRS-Marabitana com aproximadamente 2 anos de idade foram cedidas pela Embrapa Amazônia Ocidental. As mudas foram produzidas a partir de estacas em sacos de mudas de 3kg, contento latossolo e areia na proporção 2:1 com adição de ureia, cloreto de potássio e fosfato de acordo com as recomendações da EMBRAPA (2005) as mudas foram mantidas no viveiro com sombreamento 50%, irrigação constante e sem mais nenhuma adubação até a montagem do experimento.

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal do INPA. As mudas foram transplantadas dos sacos para vasos de 2,8L vedados (sem drenagem), mantendo o substrato inicial, acrescido de areia apenas para completar o vaso. Foram fornecidos nutrientes por meio de solução nutritiva de Hoogland & Arnold (1950), na força ¼ exceto N, (contendo Macronutrientes: 1,509 mM de K; 0,5 mM de Mg; 0,25mM de P; 0,25mM de Ca e 1,0 mM de S, o fornecimento de N era mínimo para o desenvolvimento das plantas, com 0,025 mM de $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$. Micronutrientes: 9 µM de Cl; 12,5 µM de Fe; 3 µM de Mn; 0,4 µM de Zn; 15 µM de B; 0,15 µM de Cu e 0,05 µM de Mo. As plantas foram irrigadas com solução nutritiva a cada 2 dias e nos intervalos acrescentava-se o mesmo volume de água a fim de manter a umidade do solo em 60% ao longo do experimento.

Após 30 dias nessas condições aplicou-se os tratamentos, com delineamento inteiramente casualizado, sendo: C – controle, mantendo a solução nutritiva conforme fornecida no pré-ensaio (sem N); T1 – com fornecimento da solução nutritiva do pré-ensaio mais $Ca(NO_3)_2.4H_2O$; T2 - fornecimento da solução nutritiva do pré-ensaio mais $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ e

$(NH_4)_2SO_4$ na proporção 1:1 de N; T3 - fornecimento da solução nutritiva do pré-ensaio mais $(NH_4)_2SO_4$. Para a aplicação dos tratamentos as plantas foram cultivadas sob o efeito de 7 mmol L^{-1} de N, independente da fonte. Cinco mudas de cada tratamento e controle foram mantidas nessas condições de cultivo por 60 dias.

Analise de macro e micronutrientes

Os minerais foram determinados no substrato das mudas e nas folhas ao final do experimento. Para as análises do solo, foram formadas amostras compostas com amostras simples dos vasos de cada tratamento, que foram secas ao ar. Para o tecido vegetal, duas plantas foram usadas para compor uma amostra, sendo 3 amostras de cada tratamento (n=3). As folhas foram destacadas e secas em estufa de circulação forçada a 65ºC até a obtenção de massa constante. Todas as amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises do Solo da ESALQ/USP para determinação dos seguinte nutrientes no solo: pH em $CaCl_2$; M.O. – extração por dicromato, determinação por colorimetria; P e K- extração com resina trocadora de íons; H+Al (acidez potencial) – pH SMP; Al, Ca e Mg – extração com KCl 1 mol L^{-1}; S – extração com fosfato de cálcio 0,01 mol L^{-1}; Boro - água quente/micro-ondas; Cu, Fe, Mn e Zn - extração com DTPA (ANDRADE *et al.*, 2001); Na – extração com Mehlich (SILVA, 2009); N_{total} extraído pelo método de Kjeldahl (TEIXEIRA *et al.*, 2017). No tecido vegetal foram quantificados: N (digestão sulfúrica); P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (digestão nitroperclórica) e B (incineração) e determinações por colorimetria (P, B), turbidimetria (S), fotometria de chama (K), espectrofotometria de absorção atômica (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) (SILVA, 2009).

Análises de Trocas gasosas

A avaliação das mudas para as análises fisiológicas ocorreu ao final do período de imposição dos tratamentos (60 dias). A taxa fotossintética

(A_n), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (Ci) foram avaliadas por meio do medidor portátil IRGA (Infra-red Gas Analyser/Li-cor 6800), de sistema aberto, com fluorômetro acoplado. Os dados da análise das trocas gasosas foram coletados em condições ambientais favoráveis, entre 7:00 horas e 13:00 horas, na região mediana de folhas em bom estado fitossanitário e expandidas.

Os dados de trocas gasosas foram obtidos seguindo os parâmetros estabelecidos por (GONÇALVES *et al.*, 2006) à densidade de fluxo de fótons saturante (PPFD) de 1500 μmol m^{-2} s^{-1}, concentração de CO_2 em 400±1 μmol, temperatura em 31±1 ºC e umidade em 60%. O equipamento foi ajustado para trabalhar com fluxo de 400 μmol s^{-1}.

Teor de metilxantinas e catequinas

Para determinar a quantidade de metilxantinas e polifenóis os métodos descritos por Schimpl *et al.* (2014) e Machado *et al.* (2018) foram adaptados. Cerca de 100 mg do material vegetal foi homogeneizado com 5 mL de metanol a 80% em tubos de vidro com tampa rosqueada e mantido em banho térmico a 50 ºC durante 2 h, com agitação a cada 15 minutos em vortex.

Após resfriamento em temperatura ambiente, as amostras foram centrifugadas à 15000 x g durante 20 minutos e 100 μL do sobrenadante foi diluído em água destilada, na proporção de 1:4. A partir destes extratos, procedeu-se às análises de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) com detector de diodo (Shimadzu Inc., Kyoto, Japão) operando em 280 nm para os polifenóis e 272 nm para as metilxantinas.

A separação foi em coluna de fase reversa C18 (25 cm x 4,6 mm x 5 μm Allcrom®) sendo a fase móvel (A) água com ácido acético a 1% e (B) metanol, sob um fluxo de 1,2 mL min^{-1}. O gradiente de eluição utilizado foi: 0 min 20% B, 13 min 45% B, 23 min 100% B e 30 min 20% B. Para a determinação das

quantidades dos alcaloides e polifenóis foram realizadas curvas padrão com cafeína, teofilina, teobromina, catequina e epicatequina (Sigma).

O tempo de retenção das metilxantinas para a detecção na HPLC foi de aproximadamente 5,0 minutos para teobromina, 7,0 minutos para teofilina e 9,0 minutos para cafeína em 272 nm. Para os polifenóis, aproximadamente 7,0 minutos para catequina, e 9,2 minutos para epicatequina em 280 nm.

Análises estatísticas

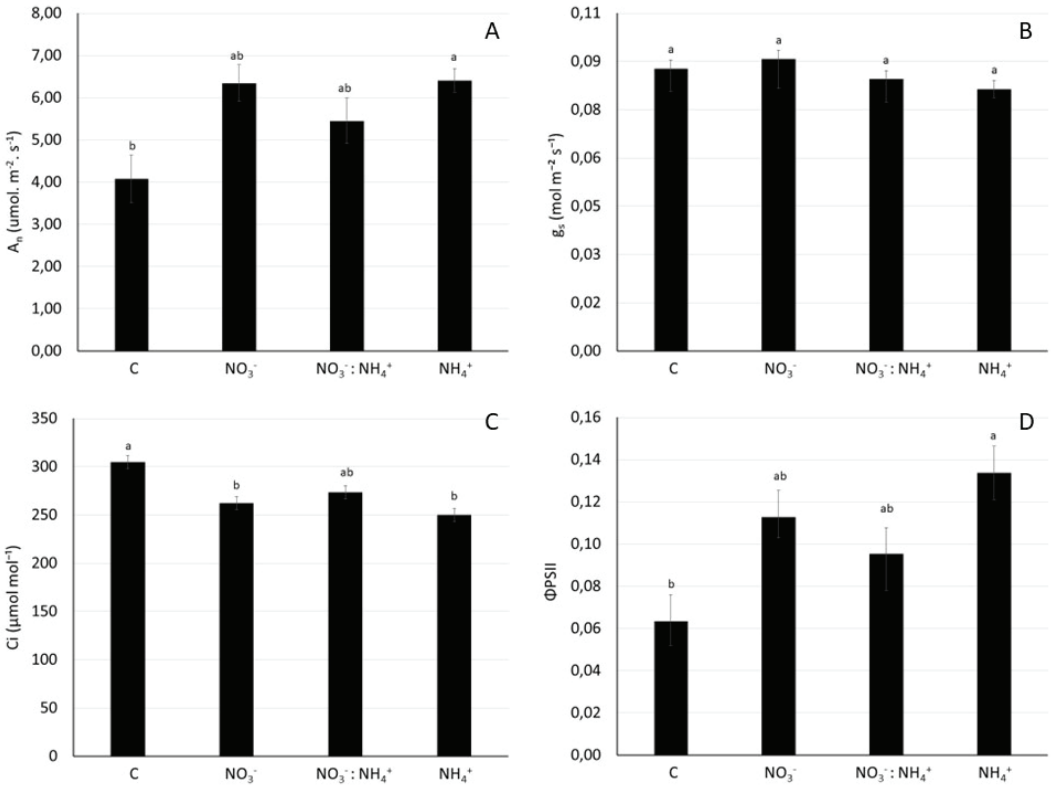
Os dados foram testados quanto a normalidade e homogeneidade pelos testes Shapiro-Wilk, dependendo do resultado foram aplicados testes paramétricos e não paramétricos. A análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A adubação nitrogenada, usualmente, causa impacto positivo no processo fotossintético de plantas lenhosas (ZHANG *et al.*, 2018), e para as mudas de guaraná estudadas a adubação nitrogenada também promoveu aumento das taxas fotossintéticas (Figura 1A). Contudo, não foram observadas diferenças entre as fontes de nitrogênio utilizada utilizadas. O mesmo comportamento foi observado para outros parâmetros relacionados as trocas gasosas, como concentração intracelular de CO_2 (C_i) e eficiência do fotossistema II (ΦPSII) (Figura 1 C e D, respectivamente), que foram afetados quanto a presença/ausência de nitrogênio fornecido às mudas de guaraná, porém, entre os tipos de fonte nitrogenada a diferença não foi significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). Por outro lado, a condutância estomática (g_s) não foi afetada pelos tratamentos aplicados (Figura 1B).

Sob esse aspecto, sem limitações estomáticas verificadas em todos os tratamentos, a menor taxa fotossintética na ausência de fertilização evidencia o efeito positivo da adubação nitrogenada, visto que as plantas fertilizadas com nitrogênio exibiram melhor desempenho desde o rendimento quântico efetivo (ΦPSII) até a assimilação do carbono pela fotossíntese (A_n). Do mesmo modo, a adubação nitrogenada favoreceu o desempenho fotossintético de espécies arbóreas condições controladas e também em campo (PASQUINI; SANTIAGO, 2012) Carneiro et al., 2015).

Figura 1. Trocas gasosas de plantas jovens de guaraná na presença de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+), ambos e na ausência de N (C – controle). A- Fotossíntese líquida (A); B- Condutância estomática (gsw); C- Carbono intracelular (Ci), e; D- Eficiência quântica efetiva do fotossistema II (ΦPSII).



Letras minúsculas distintas indicam valores significativamente diferentes entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

ISSN-E: 2238-4286 Vol. 16, Nº 2, Dezembro 2022

As formas de N afetam algumas características fisiológicas das plantas cultivadas de maneira geral, na coexistência de NH_4^+–N e NO_3^-–N, os teores de clorofila e a taxa fotossintética líquida são os mais altos, seguidos por NO_3^-–N, enquanto NH_4^+–N é o mais baixo (LI *et al.*, 2013). Para as mudas de guaranazeiro, o tipo de fonte nitrogenada relacionada com as maiores taxas fotossintéticas foi o NH_4^+–N, diferente do observado para o trigo da maioria das plantas cultivadas (GUO *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2017).

O conteúdo de nutrientes nas folhas de mudas de guaraná foi pouco afetado pelo fornecimento de N nas diferentes formas (Tabela 1). Apenas N, P e S tiveram variações significativas no conteúdo, dependendo do tratamento. O maior acúmulo de N nas folhas das plantas de guaraná foi no tratamento com NO_3^-, cerca de 30% a mais que os demais tratamentos, indicando maior assimilação desse nutriente em virtude a forma fornecida. Para plantas cultivadas, alguns resultados mostram que ao fornecer NH_4^+–N, o N total, aminoácidos livres e amidas são maiores que NO_3^-–N, apesar de já ter sido demonstrado que ambas as fontes podem incrementar o acúmulo de N (LI *et al.*, 2013).

Para mudas de mogno amazônico (*Swietenia macrophylla*) tanto NH_4^+–N quanto NO_3^-–N promoveram aumento no teor de N, no entanto ao avaliar o fornecimento de doses de nitrato de 400 mg dm $^{-3}$ de N, observou-se um acúmulo de N 30% menor em relação à mesma taxa na forma amônio, o que indica que a preferência pela forma N foi dependente da concentração de N no solo (CARDOSO *et al.*, 2021). A avaliação de doses de N, além da fonte auxiliará na recomendação de adubação nitrogenada para mudas de guaranazeiro. Outros trabalhos já demonstraram a preferência por determinada fonte, dependendo da dose, sendo possível a planta responder positivamente a uma fonte até determinada concentração e a outra a partir de concentrações maiores (TSABARDUCAS *et al.*, 2017).

Tabela 1. Conteúdo de nutrientes em folhas de mudas de guaraná adubadas com diferentes proporções de amônio e nitrato.

Nutriente	Tratamento			
	Controle	NO_3^-	NO_3^- - NH_4^+	NH_4^+
N (g kg-1)	21,8±1,3b	28,6±0,7a	21,2±0,4b	22,8±0,5b
P (g kg-1)	3,4±0,4b	3,0±0,4b	3,5±0,2b	4,6±0,6a
K (g kg-1)	15,3±0,9a	13,6±1,7a	12,2±1,0a	12,6±1,3a
Ca (g kg-1)	4,5±0,3a	6,6±0,7a	5,0±0,9a	5,0±0,5a
Mg (g kg-1)	1,6±0,1a	2,2±0,1a	1,9±0,1a	1,8±0,1a
S (g kg-1)	2,2±0,1ab	1,8±0,1b	1,9±0,2b	2,5±0,3a
B (mg kg-1)	24,3±1,1a	23,6±2,3a	23,0±1,2a	20,8±1,0a
Cu (mg kg-1)	11,8±1,1a	10,4±0,9a	9,2±0,8a	9,8±1,3a
Fe (mg kg-1)	160,8±33,0a	135,4±13,0a	125,8±10,8a	153,6±13,5a
Mn (mg kg-1)	64,3±7,2a	85,4±6,3a	76,6±14,8a	66,8±10,9a
Zn (mg kg-1)	68,8±13,7a	68,8±10,0a	80,4±15,2a	57,0±6,9a

Valores médios e respectivos desvios-padrão (n = 4). Letras minúsculas distintas indicam valores significativamente diferentes entre os tratamentos pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Ao contrário do que foi observado para N, o maior acúmulo de P foi em plantas adubadas com NH_4^+–N, 53% a mais do tratamento apenas com NO_3^-–N e 31% a mais do tratamento NO_3^-–N:NH_4^+–N (Tabela 1). Em mudas de mogno a oferta de amônio também melhorou o estado nutricional, principalmente fósforo, demonstrando alto sinergismo na absorção deste nutriente e potencializou o crescimento. Por outro lado, observou-se forte antagonismo entre a captação de nitrato e fósforo (CARDOSO *et al.*, 2021).

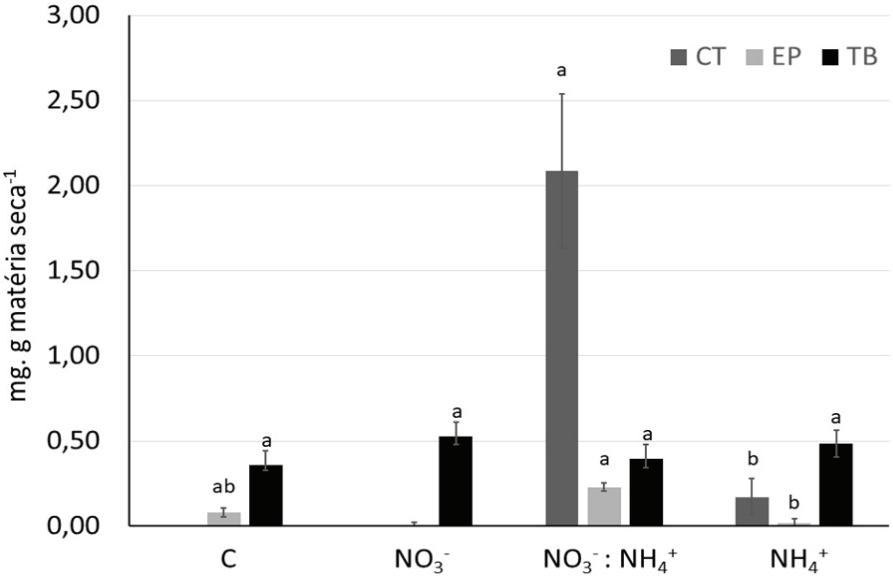
No que diz respeito ao conteúdo de enxofre, o tratamento com o fornecimento apenas de NH_4^+–N foi o que apresentou o maior acúmulo de S, isso porque a fonte de NH_4^+ usada no tratamento foi o $(NH_4)_2SO_4$. Ainda

assim, o conteúdo de S nas amostras sem N foi maior do que o tratamento com o fornecimento de NO_3^-–N e NO_3^-–N:NH_4^+–N, o que pode ter ocorrido por uma interação do NO_3^- com o S, afetando sua assimilação.

A influência da adubação nitrogenada em compostos do metabolismo secundário já foi constatada em vários estudos. A cafeína, um alcaloide com quatro nitrogênios em sua molécula, pode ter seu conteúdo alterado em folhas de plantas que possuem esse metabolismo, mediante a deficiência de nitrogênio ou diferentes doses suplementadas (PALUMBO *et al.*, 2007; POMPELLI *et al.*, 2013; QIAO *et al.*, 2018).

Em guaraná, a cafeína acumula-se em grandes concentrações nas sementes, sendo a teobromina, o precursor da cafeína em guaraná, que se acumula nos demais tecidos da planta (SCHIMPL *et al.*, 2014). O conteúdo de teobromina teve maior acúmulo significativo em plantas fornecidas com NO_3^- em 46% comparado com plantas sem fornecimento de N. No entanto não houve diferença para os tratamentos com NH_4^+–N e NO_3^-–N:NH_4^+–N (Figura 2).

Figura 2. Conteúdo de teobromina e catequinas em folhas de mudas de guaraná em diferentes fontes de N. CT = Catequina; EP = Epicatequina; TB = Teobromina.



Letras minúsculas distintas indicam valores significativamente diferentes entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mudas de guaraná apresentaram respostas fisiológicas em decorrência do fornecimento de nitrogênio, com incrementos nas trocas gasosas, assimilação de nutrientes e conteúdo de teobromina. No entanto os resultados das condições desse experimento não foram conclusivos quanto a fonte preferencial de N por mudas de guaraná, sendo até o momento, uma planta que responde positivamente a NO_3^-N, NH_4^+–N e ambos. Com base em evidencias em que a dose de N pode influenciar na assimalação preferencial por alguma fonte de N específica, novos estudos considerando fonte e doses contribuirão para elucidar o efeito de cada fonte no metabolismo da planta,

bem como subsidiar a recomendação de adubação nitrogenada em mudas de guaranazeiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM e ao Programa de Apoio ao Desenvolvimento de Pesquisa Científica Aplicada à Inovação Tecnológica – PADCIT/IFAM (Edital nº 01/2019 PADCIT/PR PPGI/IFAM) pelo suporte financeiro. Os autores também agradecem a Agropecuária Jayoro e o Dr. André Atroch da Embrapa Amazônia Ocidental pelas mudas de guaranazeiro cedidas para os experimento.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.

ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J. Guarana—*Paullinia cupana* Kunth var. *sorbilis* (Mart.) Ducke. *In*: RODRIGUES, S.;SILVA, E.*, et al* (Ed.). **Exotic Fruits Reference Guide**. 1 ed.: Elsevier, 2018. p. 225-236.

CARDOSO, A. A. S.; SANTOS, J. Z. L.; OKA, J. M.; FERREIRA, M. d. S. *et al*. Ammonium supply enhances growth and phosphorus uptake of mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedlings compared to nitrate. **Journal of Plant Nutrition**, 44, n. 9, p. 1349-1364, 2021/05/28 2021.

CARDOSO, F. B. Aspectos da produção da guaranicultura nos municípios de Apuí e Urucará no período de 1990 à 2007: a produtividade da terra. 2010.

CORUZZI, G.; BUSH, D. R. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants. **Plant Physiology**, 125, n. 1, p. 61-64, 2001.

EMBRAPA. Cultura do guaranazeiro no Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental. Sistemas de Produção. EMBRAPA. Manaus**:** 40 p. 2005.

GONÇALVES, J. F. C.; JÚNIOR, S.; SILVA, J. F.; ARRUDA, M. R. *et al.* Physiological and anatomical characteristics of leaves of two clones of guarana. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 41, n. 3, p. 393-398, 2006.

GUO, J.; JIA, Y.; CHEN, H.; ZHANG, L. *et al*. Growth, photosynthesis, and nutrient uptake in wheat are affected by differences in nitrogen levels and forms and potassium supply. **Scientific reports**, 9, n. 1, p. 1-12, 2019.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola – LSPA. ESTATÍSTICA, I. B. d. G. e. 30**:** 82 p. 2017.

JAQUETTI, R. K.; GONÇALVES, J. F. C. Data on the effects of fertilization on growth rates, biomass allocation, carbohydrates and nutrients of nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing tree legumes during tropical forest restoration. **BMC Research Notes**, 14, n. 1, p. 153, 2021/04/21 2021.

LI, S.-X.; WANG, Z.-H.; STEWART, B. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. *In*: **Advances in Agronomy**: Elsevier, 2013. v. 118, p. 205-397.

LIU, G.; DU, Q.; LI, J. Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings. **Scientia Horticulturae**, 214, p. 41-50, 2017.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011. 0123849063.

NINA, N. V. d. S.; SCHIMPL, F. C.; NASCIMENTO FILHO, F. J. d.; ATROCH, A. L. Phytochemistry divergence among guarana genotypes as a function of agro-industrial characters. **Crop Science**, 61, n. 1, p. 443-455, 2021.

PALUMBO, M. J.; PUTZ, F. E.; TALCOTT, S. T. Nitrogen fertilizer and gender effects on the secondary metabolism of yaupon, a caffeine-containing North American holly. **Oecologia**, 151, n. 1, p. 1-9, 2007.

PASQUINI, S.; SANTIAGO, L. Nutrients limit photosynthesis in seedlings of a lowland tropical forest tree species. **Oecologia**, 168, n. 2, p. 311-319, 2012.

POMPELLI, M. F.; POMPELLI, G. M.; DE OLIVEIRA, A. F.; ANTUNES, W. C. The effect of light and nitrogen availability on the caffeine, theophylline and allantoin contents in the leaves of Coffea arabica L. **Aims Environmental Science**, 1, n. 1, p. 1-11, 2013.

QIAO, C.; XU, B.; HAN, Y.; WANG, J. *et al.* Synthetic nitrogen fertilizers alter the soil chemistry, production and quality of tea. A meta-analysis. **Agronomy for sustainable development**, 38, n. 1, p. 1-10, 2018.

SCHIMPL, F. C.; DA SILVA, J. F.; DE CARVALHO GONÇALVES, J. F.; MAZZAFERA, P. Guarana: revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **Journal of ethnopharmacology**, 150, n. 1, p. 14-31, 2013.

SCHIMPL, F. C.; KIYOTA, E.; MAYER, J. L. S.; GONÇALVES, J. F. C. *et al.* Molecular and biochemical characterization of caffeine synthase and purine alkaloid concentration in guarana fruit. **Phytochemistry**, 105, p. 25-36, Sep 2014. Research Support, Non-U.S. Gov't.

SILVA, F. C. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos Brasília, 2009.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: Embrapa 2017.

TSABARDUCAS, V.; CHATZISTATHIS, T.; THERIOS, I.; PATAKAS, A. How nitrogen form and concentration affect growth, nutrient accumulation and photosynthetic performance of Olea europaea L.(cv.'Kalamon'). **Scientia horticulturae**, 218, p. 23-29, 2017.

ZHANG, H.; LI, W.; ADAMS, H. D.; WANG, A. *et al.* Responses of woody plant functional traits to nitrogen addition: a meta-analysis of leaf economics, gas exchange, and hydraulic traits. **Frontiers in Plant Science**, 9, p. 683, 2018.