REVISTA DE CIÊNCIASAGRÁRIAS
Amazonian Journal
of Agricultural and Environmental Sciences
www.ajaes.ufra.edu.br

http://dx.doi.org/10.4322/rca.1892

ARTIGO ORIGINAL

Eficiência no uso de nitrogênio por genótipos de algodoeiro arbóreo sob aplicação de fósforo

Nitrogen use efficiency in pima cotton genotypes under phosphorus application

Elcio Ferreira Santos[1]*
Érica de Oliveira Araújo[2]
Marcos Antonio Camacho[3]

[1] Universidade de São Paulo – USP, Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, Programa de Pós-graduação em Ciências, Piracicaba, SP, Brasil
[2] Universidade da Grande Dourados – UFGD, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Dourados, MS, Brasil
[3] Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Aquidauana, MS, Brasil
***Autor Correspondente:**
E-mail: elciosantos@cena.usp.br

PALAVRAS-CHAVE
Gossypium barbadense
Concentração de N
Acúmulo de N
Cerrado brasileiro

KEYWORDS
Gossypium barbadense
N concentration
N accumulation
Brazilian savanna

RESUMO: A produção eficiente de algodão (*Gossypium barbadense*) em solos com baixos teores de fósforo (P) exige um maior conhecimento sobre a interferência das adaptações vegetais, em relação ao estresse de P, na absorção, no transporte e no uso de outros nutrientes, como o nitrogênio (N). Assim, a seleção de genótipos eficientes no uso do N em condições de baixo suprimento de P é uma ferramenta eficaz para obter o desenvolvimento vegetal adequado. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência do uso de N em genótipos de algodoeiro, em diferentes disponibilidades de P. Foram testados 14 genótipos de algodoeiro, cultivados em dois suprimentos de P –adequado e baixo nível. Foram avaliados a concentração e o acúmulo de N, bem como as eficiências de absorção, transporte e uso de N. Os genótipos cultivados em baixo suprimento de P apresentaram maior concentração de N foliar, indicando relação de sinergismo entre o N e o P. O genótipo MT 92 demonstrou maior capacidade de absorção e transporte de N em condições de baixo suprimento de P no solo, enquanto o MT 105 demonstrou maior capacidade de conversão de N em biomassa. Os genótipos foram caracterizados como fonte de genes de adaptação à baixa disponibilidade de P para o uso de N, sendo indicados para o melhoramento genético no cultivo de algodoeiro.

ABSTRACT: *The efficient cotton (Gossypium barbadense) yield in soils with low phosphorus (P) content require a better understanding of the interference of plant adaptations regarding P stress, absorption, transport and use of other nutrients such as nitrogen (N). Thus, the selection of genotypes efficient in the use of N in low P supply conditions is an effective tool for adequate plant development. This work aims to evaluate the N use efficiency in cotton genotypes grown in different P availability conditions. We tested 14 genotypes of pima cotton, grown in two supply levels of P: adequate and low level. We evaluated the concentration and accumulation of N, as well as the N efficiency of absorption, transport and use. Genotypes grown with low P supply showed higher leaves N concentration, indicating a synergistic relationship between N and P. The MT 92 genotype showed a higher capacity to absorb and transport N in soil with low P supply, while the MT 105 genotype showed higher capacity of converting N into biomass. The genotypes studied characterize a selection of genes for adaptation to low P availability for the use of N, and are indicated for genetic improvement in the cotton crop (Gossypium hirsutun L).*

Recebido: 4 mar. 2015
Aceito: 11 jan. 2016

1 Introdução

O P é o nutriente que mais limita a produção de algodão em solos da região do Cerrado brasileiro. A grande limitação de produção ocorre pela baixa disponibilidade de P, resultante do elevado teor de sesquióxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), os quais promovem a adsorção do fosfato na superfície dos coloides (Pavinato et al., 2009). No entanto, quando plantas são cultivadas em ambiente com baixo teor de P no solo, esta deficiência pode desencadear diversas respostas adaptativas, promovendo diferenças na eficiência de absorção e uso do nutriente (Fageria et al., 2012a). Em plantas de algodoeiro, essas diferenças podem ser atribuídas à morfologia do sistema radicular, ao estabelecimento de associações simbióticas, à expressão de transportadores de alta afinidade e às alterações na região da rizosfera com a exsudação de prótons e substâncias orgânicas (Wang et al., 2010).

As adaptações vegetais, além de influenciar a eficiência no uso de P, também interferem na eficiência de absorção e uso de outros nutrientes, como o N (Fageria et al., 2012b). As correlações genéticas entre características secundárias e os estresses de P influenciam a utilização de N (Souza et al., 2010). Fageria et al. (2012b) relataram baixa concentração de N em feijoeiro que recebeu alta adubação com P.

A produção eficiente de algodão em solos com baixos teores de P exige um maior conhecimento da interferência das adaptações vegetais na absorção de outros nutrientes. Assim, a seleção de genótipos mais eficientes no uso do N, em condições de baixo suprimento de P, constitui uma ferramenta eficaz para obter produções adequadas (Souza et al., 2010), sendo poucos os estudos que contemplam esse assunto.

O *Gossypium barbadense* tem sido indicado como fonte de genes de resistência para o melhoramento genético da principal espécie utilizada para produção de algodão no Brasil, o *Gossypium hirsutun* L. (Campbell et al., 2010*)*. Os conhecimentos das respostas nutricionais desta espécie fornecem subsídios para delinear estratégias adequadas de conservação, descrevendo os efeitos de genes com importância nas características agronômicas (Zhu & Kuraparthy, 2014). A descrição das eficiências nutricionais recomenda possíveis genótipos para programas de melhoramento do algodoeiro, indicando fonte de genes que conferem eficiência nutricional e capacidade de resposta à adubação. Além disso, existem poucos trabalhos na literatura que abordam a dinâmica de N no algodoeiro em função do suprimento de P.

Nesse sentido, a adaptação de plantas de algodoeiro à baixa disponibilidade de P para o uso de N pode ser alcançada mediante o uso de genótipos de *G. barbadense* que apresentem maior eficiência em absorver, transportar e utilizar o N, sendo essenciais estudos que comtemplem a caracterização de genótipos eficientes. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência no uso de N em genótipos de *Gossypium barbadense* L. em condições de adequada e baixa disponibilidade de P.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação no Setor de Produção Vegetal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, em Aquidauana-MS, no período de dezembro/2010 a junho/2011. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em fatorial 14 × 2, com quatro repetições. Como fatores, foram considerados 14 genótipos de *Gossypium barbadense* e dois suprimentos de P no solo (adequado e baixo). Foi utilizada a diagnose por subtração para fornecer informações qualitativas de como o P pode limitar a nutrição de N pelas plantas (Araújo et al., 2012). Os genótipos utilizados de *Gossypium barbadense* foram identificados como: MT 69, MT 70, MT 87, MT 91, MT 92, MT 94, MT 101, MT 102, MT 105, MT 106, MT 110, MT 112, MT 124 e MT 125. Todos os materiais foram coletados no Estado de Mato Grosso.

Os vasos utilizados possuíam capacidade de 6 dm^3 e receberam 5 kg de solo da camada superior (0-20 cm) de um Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006). As amostras de solo foram secas ao ar livre, peneiradas em malha de 2 mm e homogeneizadas. A análise granulométrica do solo apresentou os seguintes teores de argila, silte e areia, respectivamente, 225, 62 e 713 g kg^{-1}. As propriedades químicas foram: pH (0,01 mol L^{-1} $CaCl_2$) = 4,2; matéria orgânica = 11 g dm^{-3}; P extraído por resina = 3 mg dm^{-3}; K = 2,7 $mmol_c$ dm^{-3}; Ca = 15 $mmol_c$ dm^{-3}; Mg = 10 $mmol_c$ dm^{-3}; H + Al = 34 $mmol_c$ dm^{-3}; CTC = 61,9 $mmol_c$ dm^{-3}.

Os tratamentos com P foram aplicados na semeadura, utilizando-se como fonte o superfosfato triplo (45% de P_2O_5), na dose de 120 mg kg^{-1} de P, como de adequado suprimento de P no solo. Para todos os vasos, no momento da semeadura, foram aplicados N e K nas doses de 100 mg kg^{-1}de N como sulfato de amônio [$(NH_4)_2SO_4$] e 200 mg kg^{-1} de K como sulfato de potássio (K_2SO_4). Aos 15 dias após emergência (DAE), foram aplicados 100 mg kg^{-1} de N como sulfato de amônio.

Aos 195 DAE, as plantas foram coletadas e separadas em folhas, caule e raízes, sendo, posteriormente, lavadas com água deionizada, secas em estufa a 65 °C (±0,5) por 72 h, com posterior determinação da massa seca. Após secagem, o material foi moído. Foram realizadas determinações das concentrações de N, de acordo com o método descrito por Malavolta et al. (1997). O N acumulado pelas plantas foi obtido a partir do produto entre a concentração de N nas diferentes partes e os acúmulos de massa seca (MS).

A partir desses resultados, calcularam-se: i) eficiência de absorção de N (EAN,g g^{-1}) = (acúmulo total de N, mg)/(MS do sistema radicular (Swiader et al., 1994); ii) eficiência de transporte de N (ETN, %) = (acúmulo na parte área de N, mg/acúmulo total de N, mg) × 100 (Li et al., 1991); iii) eficiência de utilização de N (EUN, g^2 mg^{-1}) = [MS total produzida (PA+raiz), $g)^2$]/(acúmulo de N total, mg) (Siddiqi & Glass, 1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao teste F e à comparação entre os genótipos, realizados pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), e a comparação entre os suprimentos de P deu-se pelo teste da diferença mínima significativa ($p \leq 0,05$).

3 Resultados e Discussão

A produção de massa seca total (MST) dos genótipos respondeu de forma positiva à adubação de P no solo; contudo, o padrão de resposta foi distinto entre os genótipos (Figura 1). O genótipo MT 124 apresentou o maior acúmulo de MST em níveis de P adequados no solo, indicando maior capacidade

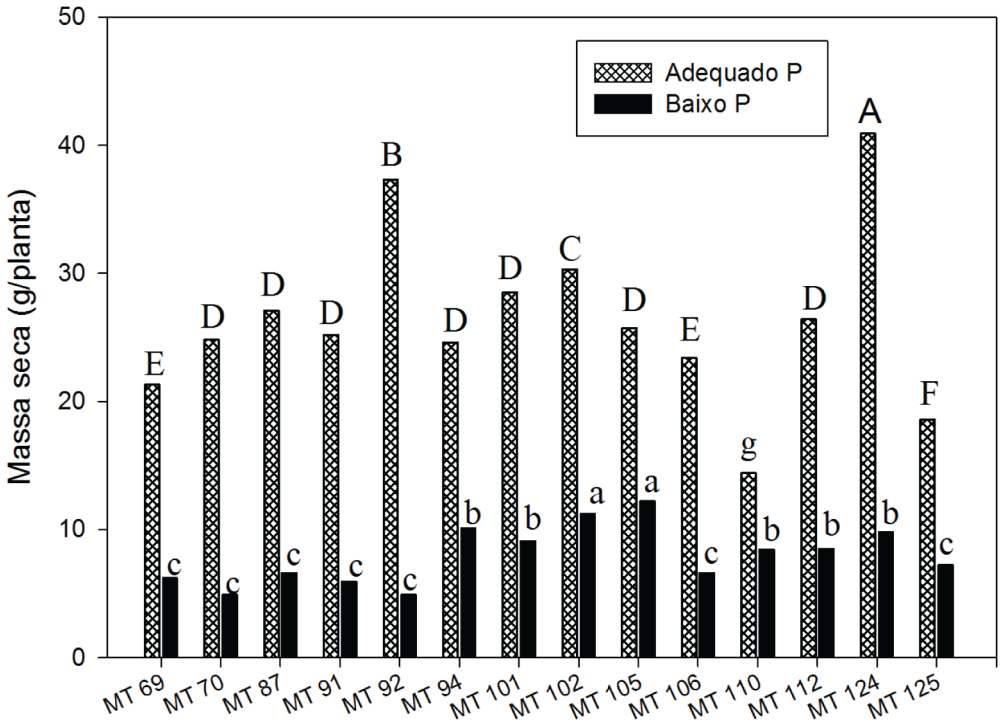

Figura 1. Produção de massa seca dos genótipos de *Gossypium barbadense* cultivados em adequado P (letras maiúsculas) e baixo P (letras minúsculas). Letras comparadas no mesmo suprimento de P não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Figure 1. Dry mass yeild of *Gossypium barbadense* genotypes grown in adequate P (uppercase letters) and low P (lowercase). Letters compared in the same P supply not differ by Scott-Knott test at 0.05.

de resposta (ganho absoluto por P adicionado no solo) deste genótipo do que os demais. Em condições de deficiência de P, os genótipos MT 102 e MT 105 apresentaram o maior acúmulo de MST. O P interfere na absorção de N indiretamente, por meio da redução da área foliar (Fageria et al., 2012a). A área foliar está intimamente ligada à absorção de N, pois quanto maior a área foliar, maior a taxa de transpiração vegetal, a qual, por sua vez, aumenta o fluxo de água absorvida pela planta (Bonfim-Silva & Monteiro, 2010). A absorção de água influencia diretamente na condução de nutrientes do solo até a superfície radicular, sendo significativa para o N (Han et al., 2015*)*. Desta maneira, os genótipos demonstraram respostas distintas de desenvolvimento ao suprimento de P no cultivo.

A concentração de N nas folhas, no caule e nas raízes foi influenciada pelos genótipos, quando comparados para cada suprimento de P (adequado e baixo), apresentando comportamento distinto (Tabela 1). Em relação à concentração de N foliar, os genótipos MT 102, MT 106 e MT 110 apresentaram as maiores médias para as plantas cultivadas com adequado suprimento de P no solo. Já para as plantas cultivadas com baixo suprimento de P, o genótipo MT 101 demonstrou maior concentração foliar de N. Observando-se a concentração de N no caule das plantas, nota-se que as maiores concentrações de N no caule foram apresentadas pelo genótipo MT 94 − entre os genótipos com adequado P−e os genótipos MT 70, MT 87 e MT 106−entre os genótipos cultivados com baixo suprimento de P. Os genótipos apresentaram pouca variação da concentração de N nas raízes, destacando-se o genótipo MT 105, o qual apresentou as menores concentrações de N nas raízes entre os genótipos cultivados com adequado e baixo suprimento de P.

Comparando-se as concentrações de N das plantas cultivadas com adequado e baixo suprimento de P, observa-se que as médias das concentrações de N do caule e das raízes dos genótipos não diferiram (Tabela 2). Diferentemente, dos resultados observados para as médias das concentrações das folhas, nos quais foi observada maior concentração de N nas folhas dos genótipos cultivados com adubação de P. Fageria et al. (2012b) também relataram redução da concentração de N foliar com o aumento dos teores de P no solo em feijoeiro.

Os resultados do presente trabalho são explicados, em parte, pelo efeito de diluição. Assim, as plantas cultivadas em solo onde foi aplicado P apresentaram maior produção de massa seca (Figura 1), promovendo a diluição da concentração de N no tecido foliar. Ademais, a maior concentração de N no tecido vegetal das plantas deficientes em P, observada no presente trabalho, pode ser explicada pela senescência foliar prematura que a deficiência de P causa nas plantas (Epstein & Bloom, 2006). A senescência foliar promove a redistribuição de N das folhas maduras para os pontos em crescimento (Han et al., 2015). No final do experimento, as folhas das plantas deficientes em P, as quais foram usadas para a determinação de N, possuíam maior concentração de N do que aquelas cultivadas com nível adequado de P. Deve-se destacar que a plantas de algodoeiro deficientes em P apresentaram desenvolvimento lento, além do sintoma de folhas verde-escuras referidas na literatura (Epstein & Bloom, 2006). Além disso, as plantas apresentaram

Tabela 1. Comparação de médias da concentração de N nas folhas (NF), no caule (NC) e nas raízes (NR) entre genótipos de *Gossypium barbadense* para cada suprimento de P no solo (adequado e baixo).

Table 1. Comparing mean for N concentration in leaves (NF), stems (NC), and roots (NR) between *Gossypium barbadense* genotypes for each P supply in the soil (adequate and low).

Genótipos	NF (g kg^{-1})		NC (g kg^{-1})		NR (g kg^{-1})	
	Adequado	Baixo	Adequado	Baixo	Adequado	Baixo
MT 69	13,1 d	18,5 e	4,7 c	5,2 b	10,9 a	11,0 b
MT 70	13,2 d	23,2 c	5,8 b	6,0 a	11,6 a	13,4 a
MT 87	12,8 d	16,1 e	6,2 b	6,7 a	12,3 a	15,0 a
MT 91	13,5 d	21,1 d	5,9 b	5,8 a	10,5 a	12,9 a
MT 92	14,1 b	17,6 e	3,8 c	5,1 b	11,3 a	13,6 a
MT 94	19,1 b	26,19 c	7,2 a	5,1 b	13,2 a	12,7 a
MT 101	15,5 c	32,6 a	5,2 c	5,0 b	11,1 a	13,6 a
MT 102	20,0 a	26,5 c	4,1 c	4,4 b	12,4 a	13,7 a
MT 105	16,8 c	24,4 c	5,6 b	4,7 b	7,5 b	9,6 c
MT 106	22,6 a	25,2 c	6,1 b	6,7 a	14,3 a	14,6 a
MT 110	23,1 a	28,0 b	5,0 c	5,2 b	13,0 a	11,9 b
MT 112	16,0 c	28,8 b	5,2 c	4,7 b	10,8 a	12,5 a
MT 124	19,3 b	18,5 e	4,5 c	3,7 b	11,6 a	9,6 c
MT 125	16,1 c	16,3 e	5,0 c	4,32 b	12,60 a	12,9 a
CV (%)	10,2	12,1	3,4	4,7	18,2	19,1

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Tabela 2. Média dos genótipos de *Gossypium barbadense* para as concentrações de N nas folhas (NF), no caule (NC) e nas raízes (NR), comparando os suprimentos de P no solo (adequado e baixo).

Table 2. Average *Gossypium barbadense* genotypes for N concentrations in leaves (NF), stems (NC), and roots (NR) comparing the P supply in the soil (adequate and low).

Tratamentos	NF (g kg^{-1})	NC (g kg^{-1})	NR (g kg^{-1})
Adequado P	16,8 b	5,3 a	11,6a
Baixo P	23,1 a	5,2 a	12,6 a
CV (%)	12,25	11,21	21,23

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste da diferença mínima significativa ($p \leq 0,05$).

amarelecimento das folhas mais velhas, semelhante a sintoma típico de carência de N, segundo Rosolem & Bastos (1997). A análise conjunta dos sintomas confirma a hipótese da modificação da dinâmica de absorção e uso de N em função do teor de P no solo.

O genótipo MT 124 apresentou maior acúmulo de N foliar entre as plantas cultivadas com suprimento adequado de P (Tabela 3). Já entre as plantas com baixo suprimento de P, os genótipos MT 101 e MT 102 demonstram maior acúmulo foliar. Em relação ao acúmulo do caule, apenas as plantas cultivadas com suprimento de P adequado, apresentaram diferenças entre os genótipos, sendo que os maiores acúmulos de N no caule foram nos genótipos MT 87, MT 92, MT 94 e MT 124. Resultado semelhante foi encontrado para o acúmulo de N nas raízes, no qual só as plantas cultivadas com adequado suprimento de P apresentaram diferença entre os genótipos. Para o acúmulo de N nas raízes, destacam-se o MT 106 e o MT 124, com os maiores acúmulos.

Os genótipos de *Gossypium barbadense* apresentaram maiores acúmulos de N, independentemente da parte vegetal, no tratamento adequado P (Tabela 4). No suprimento adequado de P, as plantas encontraram condições ideais de desenvolvimento, produzindo maiores quantidade de biomassa em relação às plantas cultivadas no tratamento com baixo P. Todavia, o maior acúmulo de N no tratamento adequado P ocorreu pela maior produção de biomassa, refletindo na maior necessidade e absorção de N no caule e nas raízes. Diversos autores citam algumas interações que ocorrem no solo entre os nutrientes absorvidos pelas plantas; dentre essas interações, observa-se que o aumento da concentração de P disponível no solo proporciona incrementos na absorção de N-amoniacal pelas plantas (Souza et al., 2010; Marschner, 2012). Essa associação entre N e P resulta em maior mobilidade do P dentro do tecido vegetal e maior produção de biomassa pelo mesmo (Araujo & Machado, 2006), justificando o aumento do N acumulado na planta, observado no presente trabalho.

Observando-se os acúmulos nos genótipos, nota-se que as plantas cultivadas em solo com baixo teor de P no solo apresentaram maior conteúdo relativo de N nas folhas, enquanto as plantas cultivadas em nível adequado de P no solo acumularam maior quantidade de N nas folhas (Figura 2a, b). As plantas deficientes em P acumulam este macronutriente nas raízes para garantir o desenvolvimento radicular e a exploração do solo (Zambrosi et al., 2012), diferentemente do padrão observado para o N. As plantas cultivadas em P adequado apresentaram, aproximadamente, acúmulo relativo de 29, 24 e 47% nas folhas, no caule e nas raízes, respectivamente. Já as plantas cultivadas em nível de P limitante, acumularam aproximadamente 45, 17 e 38% de N nas folhas, no caule e nas raízes, respectivamente. As plantas cultivadas com baixo suprimento de P acumularam N nas folhas a fim de garantir

Tabela 3. Comparação de médias do acúmulo de N nas folhas (ANF), no caule (ANC) e nas raízes (ANR) entre genótipos de *Gossypium barbadense* para cada suprimento de P no solo (adequado e baixo).

Table 3. Comparison of means for N accumulation in leaves (ANF), stem (ANC), and roots (ANR) between *Gossypium barbadense* genotypes for each P supply in the soil (adequate and low).

Genótipos	ANF (mg)		ANC (mg)		ANR (mg)	
	Adequado	Baixo	Adequado	Baixo	Adequado	Baixo
MT 69	63,1 c	30,9 d	56,9 b	10,8 a	53,7 e	27,6 a
MT 70	80,9 b	18,2 d	58,0 b	11,7 a	74,8 d	29,2 a
MT 87	45,9 d	16,9 d	74,4 a	22,9 a	141,3 b	31,7 a
MT 91	69,9 c	31,3 d	66,9 b	13,8 a	91,0 d	28,2 a
MT 92	71,2 c	25,5 d	73,4 a	14,7 a	147,2 d	8,7 a
MT 94	61,3 c	49,5 c	88,3 a	25,4 a	110,5 c	42,1 a
MT 101	87,8 b	88,4 a	51,2 c	10,8 a	112,8 c	56,8 a
MT 102	82,7 b	74,1 a	68,2 b	22,8 a	122,9 c	44,9 a
MT 105	65,5 c	56,9 b	44,1 c	19,3 a	89,8 d	55,9 a
MT 106	55,5 d	38,2 c	47,1 c	16,5 a	188,1 a	39,8 a
MT 110	38,5 d	45,6 c	30,6 d	19,1 a	65,0 e	35,8 a
MT 112	61,1 c	60,7 b	62,7 b	14,7 a	116,6 c	39,8 a
MT 124	159,1 a	47,93 c	76,1 a	11,4 a	181,1 a	39,9 a
MT 125	45,6 d	25,92 d	32,3 d	10,9 a	124,0 c	38,51 a
CV (%)	15,2	12,3	13,4	10,6	11,2	12,6

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Tabela 4. Média dos genótipos de *Gossypium barbadense* para os acúmulos de N nas folhas (ANF), no caule (ANC) e nas raízes (ANR), comparando os suprimentos de P no solo (adequado e baixo).

Table 4. Average *Gossypium barbadense* genotypes for N accumulation in leaves (ANF), stem (ANC), and roots (ANR), comparing the P supply in the soil (adequate and low).

Tratamentos	ANF (mg)	ANC (mg)	ANR (mg)
Adequado P	70,3 a	59,3 a	115,6 a
Baixo P	43,5 b	16,0 b	38,8 b
CV (%)	15,21	12,21	13,83

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste da diferença mínima significativa ($p \leq 0,05$).

o processo fotossintético, diferentemente das plantas não deficientes em P, as quais acumularam o N nas raízes para garantir o desenvolvimento radicular e a busca por água e nutrientes (Chen et al., 2014).

Os genótipos cultivados com suprimento de P adequado apresentaram EAN semelhante, exceto o MT 69, que apresentou aproximadamente o dobro da EAN, quando comparado com os demais genótipos (Tabela 5). Em relação aos genótipos cultivados com baixo suprimento de P, apenas o genótipo MT 92 mostrou-se diverso. Salienta-se que, em condições de P limitante ao desenvolvimento vegetal, o genótipo MT 92 apresentou, capacidade de resposta ao P para o metabolismo de N.

Os genótipos não apresentaram diferença na ETN e na EUN, em função dos suprimentos de P (Tabela 6). Desta maneira, os genótipos apresentaram transporte de N e ganhos de biomassa – utilização de N − na mesma magnitude com que o N foi absorvido no tecido vegetal.

As respostas adaptativas observadas de capacidade de absorção (EAN), de transporte (ETN) e de uso (EUN) de N apresentaram correlação entre o desenvolvimento e a dinâmica

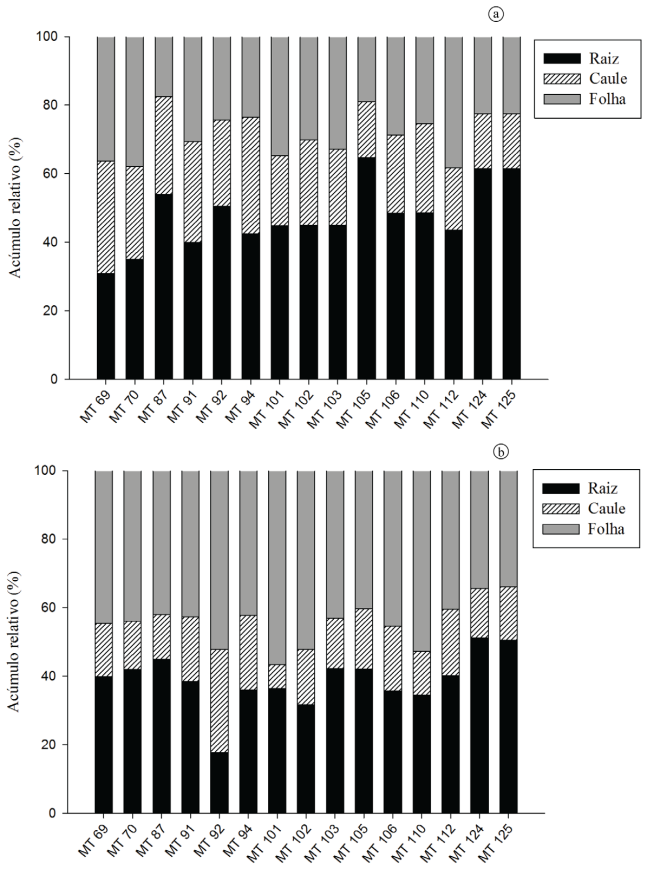

Figura 2. Acúmulo relativo das folhas, do caule e das raízes de genótipos de *Gossypium barbadense* cultivados em adequado (a) e baixo (b) suprimento de P.

Figure 2. Accumulation on leaves stems and roots of *Gossypium barbadense* genotypes grown in adequate (a) and lower (b) P supply.

Tabela 5. Comparação de médias de eficiência de absorção de N (EAN), eficiência de transporte de N (ETN) e eficiência de utilização de N (EUN) entre os genótipos de *Gossypium barbadense* para cada suprimento de P no solo (adequado e baixo).

Table 5. Comparison of means for N uptake efficiency (EAN), Nn transport efficiency (ETN), and N use efficiency (EUN) between genotypes of *Gossypium barbadense* for each P supply in the soil (adequate and low).

Genótipos	EAN (g g^{-1})		ETN (%)		EUN (g^2 mg)	
	Adequado P	Baixo P	Adequado P	Baixo P	Adequado P	Baixo P
MT 69	42,0 a	27,5 b	69,4 a	58,4 c	2,6 d	0,6 c
MT 70	25,2 b	27,1 b	68,9 a	50,4 c	3,0 c	0,4 c
MT 87	22,8 b	34,3 b	46,1 c	56,0 c	2,8 d	0,6 c
MT 91	26,5 b	33,8 b	46,1 c	58,4 c	2,8 d	0,5 c
MT 92	22,3 b	96,1 a	49,3 b	81,4 a	4,8 a	0,5 c
MT 94	28,4 b	35,6 b	57,2 b	63,9 c	2,3 d	0,8 b
MT 101	24,8 b	37,2 b	54,5 b	63,2 c	3,3 c	0,5 c
MT 102	27,6 b	45,9 b	55,1 b	68,6 b	3,4 c	0,9 b
MT 105	17,2 b	23,2 b	55,2 b	58,1 c	3,4 c	1,1 a
MT 106	21,6 b	35,3 b	33,5 c	57,6 c	1,9 e	0,5 c
MT 110	27,1 b	33,7 b	50,9 b	64,2 c	1,6 e	0,7 d
MT 112	22,7 b	36,4 b	51,4 b	65,3 c	2,9 d	0,6 d
MT 124	27,0 b	24,4 b	56,7 b	59,6 c	4,0 b	0,9 b
MT 125	21,8 b	27,6 b	37,9 c	53,4 c	1,7 e	0,6 c
CV (%)	15,0	12,7	11,4	11,4	10,0	9,3

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Tabela 6. Média dos genótipos de *Gossypium barbadense* para eficiência de absorção de N (EAN), eficiência de transporte de N (ETN) e eficiência de utilização de N (EUN), comparando os suprimentos de P no solo (adequado e baixo).

Table 6. Average *Gossypium barbadense* genotypes for N uptake efficiency (EAN), N transport efficiency (ETN), and N use efficiency (EUN), comparing the P supply in the soil (adequate and low).

Tratamento	EAN (g g^{-1})	ETN (%)	EUN (g^2 mg)
Adequado P	25,5 b	53,3 a	2,9 a
Baixo P	37,0 a	61,3 a	0,7 b
CV (%)	15,45	19,36	17,56

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste da diferença mínima significativa ($p \leq 0,05$).

na utilização de N. Assim, os genótipos foram caracterizados como fonte de genes de adaptação à baixa disponibilidade de P para o uso de N para o melhoramento genético no cultivo de algodoeiro, demonstrando respostas distintas na absorção, no transporte e no uso de N.

aproximadamente, a capacidade de absorção quatro vezes maior quando cultivado em condições de P adequado. A EAN foi correlacionada com a capacidade de crescimento radicular em condições de estresse ao P. Observando-se o acúmulo relativo do MT 92 em baixo suprimento de P no solo, verificou-se que este genótipo apresentou o menor acúmulo relativo de N nas folhas (Figura 2b). O maior acúmulo de N pelo sistema radicular do MT 92 contribuiu para a alta capacidade de absorção de N deste genótipo por unidade de raiz.

Os genótipos apresentaram maior EAN, quando cultivados com baixo suprimento de P (Tabela 6). Os maiores índices de EAN nas plantas com baixo suprimento de P, no presente trabalho, são explicados pela eficiência do sistema radicular no processo de absorção de N em condições de P adequado e baixo no solo (Jayakumar et al., 2015). Esse resultado é explicado pela menor produção de MST das plantas cultivadas em nível baixo de P no solo (Figura 1). A demanda nutricional da parte aérea (PA) atua como o principal fator regulador nas quantidades absorvidas de nutrientes (Singh et al., 2005), ou seja, o menor desenvolvimento vegetal estabeleceu uma menor necessidade de absorção de N por unidade de massa seca das raízes (MSR). Além disso, a EAN foi calculada pela relação entre o N acumulado pelas plantas e a MSR, a qual ocupou maior proporção do acúmulo de MST pelos genótipos cultivados com baixo suprimento de P no solo (Figura 2b). Assim, as plantas deficientes em P exigiram a menor absorção de N, sendo refletida na mesma capacidade de absorção de N pelos genótipos, independentemente do nível de P no solo.

Wang et al. (2010) relataram que, mesmo com reduzida adaptabilidade a baixos teores de P no solo, o algodoeiro consegue aumentar a densidade de pelos radiculares, aumentando sua superfície de absorção. Sistemas radiculares com maior área de superfície e maior densidade de pelos estão intimamente associados com a maior eficiência na absorção de N (Singh et al., 2005). Para adquirir taxas de N adequadas, as plantas podem aumentar o comprimento das raízes e explorar um maior volume de solo, possibilitando aumento na absorção deste nutriente (Chen et al., 2014). Alguns genótipos de algodoeiro podem aumentar a absorção de N, por meio da capacidade de desenvolver raízes secundárias (Singh et al., 2005), da exsudação de ácidos orgânicos no solo (Wang et al., 2010) e da capacidade de se associar com microrganismos (Ahmad et al., 2013). Os resultados do presente trabalho indicam o MT 92 como fonte de genes associados à eficiência na absorção de N em condições de baixo nível de P no solo.

O genótipo MT 92 também apresentou a maior ETN entre os genótipos cultivados com baixo suprimento de P (Tabela 6). A ETN é a divisão entre o acúmulo de N da parte aérea pelo

acúmulo de N das raízes, representando a quantidade de N que a planta transportou das raízes para a PA. No tratamento com adequado P, o MT 92 precisou acumular 147,2 mg de N nas raízes para acumular 144,6 mg de N na PA (Tabela 3). Já quando esse genótipo foi cultivado com baixo suprimento P, o baixo acúmulo das raízes (8,69 mg de N) foi o suficiente para a PA ter um acúmulo de 40,2 mg de N. Assim, o genótipo MT 92 priorizou a produção de biomassa da PA em condições de estresse ao P.

O genótipo MT 92 também demonstrou a maior EUN em solo com suprimento adequado de P; entretanto, no tratamento baixo P, apenas o genótipo MT 105 demonstrou maior capacidade de uso de N (Tabela 6). A EUN foi positivamente correlacionada com MST ($r = 0,86$, $p \leq 0,05$) e, negativamente, com o acúmulo de total de N ($r = -0,85$, $p \leq 0,05$). Essa associação positiva entre EUN e crescimento dos genótipos explica a maior EUN apresentada pelo genótipo MT 105, que apresentou alto acúmulo de biomassa total quando cultivado com baixo suprimento de P (Figura 1). Já a correlação negativa com o acúmulo total de N explica o resultado observado para o MT 92, que apresentou baixo acúmulo de N, quando cultivado com alto suprimento de P. Vale destacar que os genótipos cultivados com adequado suprimento de P apresentaram EUN distinta, diferentemente do observado para a EAN e a ETN (Tabela 6). Esse resultado indica a variabilidade na conversão do N absorvido em crescimento entre os genótipos, corroborando os resultados com outras culturas (Araújo et al., 2012; Fageria et al., 2012a) e indicando diferenças na

4 Conclusões

O N e o P apresentaram relação de sinergismo para os genótipos de algodoeiro. O genótipo MT 92 possui maior capacidade de absorção e transporte de N em condições de baixo suprimento de P, sendo indicado para programas de melhoramento de plantas visando à eficiência no uso de N. Já o genótipo MT 105 demonstra maior capacidade de conversão de N em biomassa, sendo indicado para programas de melhoramento de plantas visando à obtenção de cultivares responsivos no uso de N.

Referências

AHMAD, F.; UDDIN, S.; AHMAD, N.; ISLAM, R. Phosphorus-microbes interaction on growth, yield and phosphorus-use efficiency of irrigated cotton. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 59, n. 3, p. 341-351, 2013. http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2011.646994.

ARAUJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: SBCS, 2006. p. 253-280.

ARAÚJO, E. O.; SANTOS, E. F.; OLIVEIRA, G. Q.; CAMACHO, M. A.; DRESCH, D. M. Nutritional efficiency of cowpea varieties in the absorption of phosphorus. *Agronomia Colombiana*, v. 30, n. 3, p. 419-424, 2012.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim-braquiária em degradação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 8, p. 1641-1649, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000800004.

CAMPBELL, B. T.; SAHA, S.; PERCY, R.; FRELICHOWSKI, J.; JENKINS, J. N.; PARK, W.; MAYEE, C. D.; GOTMARE, V.; DESSAUW, D.; GIBAND, M.; DU, X.; JIA, Y.; CONSTABLE, G.; DILLON, S.; ABDURAKHMONOV, I. Y.; ABDUKARIMOV, A.; RIZAEVA, S. M.; ADULLAEV, A.; BARROSO, P. A. V.; PÁDUA, J. G.; HOFFMANN, L. V.; PODOLNAYA, L. Status of the global cotton germplasm resources. *Crop Science*, v. 50, n. 4, p. 1161-1179, 2010. http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0551.

CHEN, X. C.; ZHANG, J.; CHEN, Y. L.; LI, Q.; CHEN, F.; YUAN, L.; MI, G. Changes in root size and distribution in relation to nitrogen accumulation during maize breeding in china. *Plant and Soil*, v. 374, n. 1-2, p. 121-130, 2014. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-013-1872-0.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FAGERIA, N. K.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, J. P.; COELHO, A. M. Yield and yield components of dry bean genotypes as influenced by phosphorus fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 43, n. 21, p. 2752-2766, 2012a. http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2012.719973.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; COELHO, M. Nutrient uptake in dry bean genotypes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 43, n. 17, p. 2289-2302, 2012b. http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2012.701689.

HAN, K.; ZHOU, C.; SHENG, H.; YANG, Y.; ZHANG, L.; WANG, L.; CHEN, G.; LI, Z. Agronomic improvements in corn by alternating nitrogen and irrigation to various plant densities. *Agronomy Journal*, v. 107, n. 1, p. 93-103, 2015. http://dx.doi.org/10.2134/agronj14.0335.

JAYAKUMAR, M.; SURENDRAN, U.; MANICKASUNDARAM, P. Drip fertigation program on growth, crop productivity, water, and fertilizer-use efficiency of BT cotton in semi-arid tropical region of India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 46, n. 3, p. 293-304, 2015. http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2014.969403.

LI, B.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*, v. 37, p. 613-626, 1991.

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

MARSCHNER, P. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. *Soil & Tillage Research*, v. 105, n. 1, p. 149-155, 2009. http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2009.07.001.

ROSOLEM, C. A.; BASTOS, G. B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. *Bragantia*, v. 56, n. 2, p. 377-387, 1997. http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051997000200017.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 4, n. 1, p. 289-302, 1981. http://dx.doi.org/10.1080/01904168109362919.

SINGH, D. K.; SALE, P. W. G.; ROUTLEY, R. R. Increasing phosphorus supply in subsurface soil in northern Australia: Rationale for deep placement and the effects with various. *Plant and Soil*, v. 269, n. 1-2, p. 35-44, 2005. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-2475-6.

SOUZA, L. V.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; DE LIMA, R. O.; GUIMARÃES, L. J. M.; ECKERT, F. R.; MANTOVANI, E. E. Inter-relação de nitrogênio e fósforo na capacidade de combinação e na seleção em milho. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 633-641, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000500011.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994. http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364840.

WANG, X. R.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? *Plant Science*, v. 179, n. 4, p. 302-306, 2010. http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.06.007.

ZAMBROSI, F. C. B.; MATTOS JUNIOR, D. M.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; BOARETTO, R. M. Efficiency of absorption and utilization of phosphorus in citrus rootstock. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 36, n. 2, p. 485-496, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200018.

ZHU, L.; KURAPARTHY, V. Molecular genetic mapping of the major effect photoperiod response locus in pima cotton (*Gossypium barbadense* L.). *Crop Science*, v. 54, n. 6, p. 2492-2498, 2014. http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2014.03.0258.

Contribuição dos autores: Elcio Ferreira Santos – Condução do experimento, redação científica e análise estatística; Érica de Oliveira Araújo – Condução do experimento e redação científica; Marcos Antonio Camacho – Orientação da condução do trabalho, redação científica e análise estatística.

Agradecimentos: À *Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul* (Fundect), pelo suporte financeiro, e aos Pesquisadores Dr. Paulo Augusto Vianna Barroso e Dr. Guilherme Lafourcade Asmus, da Embrapa, pela disponibilidade do germoplasma testado no trabalho.

Fonte de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.