



TEOR, CONTEÚDO, EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO, TRANSPORTE E UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO PELO ALGODOEIRO CULTIVADO SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE BORO E ZINCO

Érica de Oliveira Araújo¹; Marcos Antonio Camacho²; Elcio Ferreira dos Santos³; Ana Paula Câmara⁴

¹ UFGD/ericabb25@hotmail.com; ² UEMS/camacho@uems.br; ³ UEMS/elcio_f2@hotmail.com;
⁴ UEMS/paulinha_01camara@hotmail.com

RESUMO – Informações sobre o efeito do suprimento de B e Zn sobre a concentração, a absorção, o transporte e a utilização de outros nutrientes por plantas de algodoeiro ainda são muito limitadas. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito das concentrações de boro, zinco e a interação entre esses nutrientes sobre o teor, o conteúdo e as eficiências de absorção, transporte e utilização de nitrogênio e fósforo pelo algodoeiro cultivado em solução nutritiva. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso com três repetições, em esquema fatorial 4x5, sendo quatro concentrações de boro (0, 20, 40 e 80 $\mu\text{M L}^{-1}$), aplicado na forma de ácido bórico, e cinco concentrações de zinco (0, 1, 2, 4 e 8 $\mu\text{M L}^{-1}$), aplicado na forma de sulfato de zinco. As plantas de algodoeiro estudadas foram cultivadas em casa de vegetação, com solução nutritiva completa, por 28 dias, após os quais receberam solução nutritiva modificada de acordo com o tratamento. Aos 115 dias após emergência, as plantas foram coletadas, divididas em raiz, parte aérea e frutos, e submetidas à análise química. Os resultados permitiram concluir que o teor de nitrogênio na raiz do algodoeiro aumentou com o suprimento de B. O teor e o conteúdo de P na parte aérea, raiz e frutos diminuíram com o aumento das concentrações de B na solução nutritiva. A eficiência de absorção, transporte e utilização de fósforo é influenciada pelas concentrações de B.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum* L., micronutrientes, eficiência nutricional

INTRODUÇÃO

Muitas espécies e mesmo variedades de plantas diferem em suas respostas à disponibilidade de nutrientes no meio de cultivo. As causas disso residem nas diferenças de capacidade de absorção e utilização dos nutrientes. Esses fatores estão associados às características morfológicas da planta, como comprimento, taxa de crescimento e área superficial de raízes (BARBER, 1981), bem como a características fisiológicas ligadas à cinética de absorção e à eficiência no transporte e metabolização de nutrientes (BARBER, 1984). A movimentação dos íons por meio das raízes e seu descarregamento no xilema envolvem vários mecanismos que podem limitar sua ascensão para a parte aérea e que podem ser à base das diferenças genotípicas na absorção e no movimento dos nutrientes (GERLOFF; GABELMAN, 1983)

Para um determinado genótipo, a eficiência nutricional é referida como a habilidade de proporcionar uma alta produtividade num solo que possui limitação de um ou mais nutrientes minerais, em relação a um genótipo padrão (GRAHAM, 1984). As variáveis relacionadas aos processos fisiológicos que governam a eficiência nutricional, tais como absorção de um dado nutriente, seu transporte e utilização pela planta, sugerem controle genético da nutrição (SACRAMENTO; ROSOLEM, 1998).

A disponibilidade, a absorção, o transporte e a redistribuição dos nutrientes minerais nas plantas são os fatores que mais determinam tanto a produção como a partição dos fotoassimilados, que, por sua vez, determinam a sobrevivência, a competitividade e o rendimento das plantas cultivadas (McDONALD et al., 1996). O estado nutricional, particularmente em relação ao N e ao P, exerce grande influência sobre a produção e distribuição de matéria seca entre os diferentes órgãos das plantas (MARSCHNER et al., 1995).

A natureza essencial do B e do Zn para o crescimento e o desenvolvimento das plantas foi claramente demonstrada. Estes elementos participam de numerosos processos fisiológicos que estão diretamente relacionados à estrutura e síntese da parede celular; à lignificação; ao metabolismo de carboidratos, RNA, auxinas, compostos fenólicos e ácido ascórbico (CAKMAK; ROMHELD, 1997), no caso do B. No que se refere ao Zn, a sua função básica está relacionada à atividade e à composição enzimática, à manutenção da integridade das membranas, à síntese de proteínas e auxinas e à produção de sementes (MENGEL; KIRKBY, 1987).

Contudo, poucos estudos tratam da relação entre o B e o Zn e entre eles e o restante dos nutrientes. Informações sobre o efeito do suprimento de B e Zn sobre a concentração, a absorção, o transporte e a utilização de outros nutrientes por plantas de algodoeiro ainda são muito limitados. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das concentrações crescentes de boro, zinco e a interação entre esses nutrientes sobre o teor, o conteúdo e as eficiências de absorção, transporte e utilização de nitrogênio e fósforo pelo algodoeiro cultivado em solução nutritiva.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Setor de Produção Vegetal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), em Aquidauana-MS, de dezembro de 2009 a abril de 2010, cujas coordenadas geográficas são latitude 20°28'S, longitude 55°48'W e altitude de 174 metros. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso com três repetições, em esquema fatorial 4x5, sendo quatro concentrações de boro (0, 20, 40 e 80 $\mu\text{M L}^{-1}$), aplicado na forma

de ácido bórico, e cinco concentrações de zinco (0, 1, 2, 4 e 8 $\mu\text{M L}^{-1}$), aplicado na forma de sulfato de zinco. Ao todo foram 60 unidades experimentais.

As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos com capacidade de três litros, preenchidos com areia lavada. Sementes de algodão (*Gossypium hirsutum*, L.), cv. FiberMax 910, foram postas a germinar em bandejas com areia umedecida. Cinco dias após a emergência (DAE), por ocasião do aparecimento das folhas cotiledonares, foram transplantadas três plântulas para cada unidade experimental, onde receberam solução nutritiva de crescimento, completa e diluída a 1/5 (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Aos 28 DAE, realizou-se o desbaste deixando apenas uma planta em cada unidade experimental e iniciou-se a aplicação da solução nutritiva de acordo com o tratamento, sendo realizadas irrigações diárias com água deionizada. Na solução dos tratamentos com omissão de nutriente, as concentrações foram idênticas à solução completa, exceto quanto ao nutriente omitido. A solução nutritiva apresentou a seguinte composição por litro (?): 6,0 mL de KNO_3 1 mol L^{-1} ; 4,0 mL de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1 mol L^{-1} ; 2,0 mL de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 1 mol L^{-1} ; 1,0 mL de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 mol L^{-1} ; 1,0 mL de Fe-EDTA 0,2 mol L^{-1} ; 1,0 mL de KCl 0,05 mol L^{-1} ; 1,0 mL de H_3BO_3 0,02 mol L^{-1} ; 1,0 mL de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,002 mol L^{-1} ; 1,0 mL de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,002 mol L^{-1} ; 1,0 mL $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,0005 mol L^{-1} ; 1,0 mL $\text{H}_2\text{MoO}_4(85\% \text{ MoO}_3)$ 0,0005 mol L^{-1} .

Aos 115 DAE, as plantas foram coletadas e divididas em raiz, parte aérea e frutos. Todo esse material vegetal foi lavado sequencialmente em solução de detergente a 3 mL L^{-1} , água corrente, solução de HCl a 0,1 mol L^{-1} e água deionizada. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C, por 72 horas. Após a secagem, procedeu-se a moagem da massa seca em moinho tipo Wiley (peneira com diâmetro de malha de 1 mm), sendo as amostras moídas acondicionadas em sacos plásticos e, em seguida, submetidas à digestão sulfúrica e nítrico-perclórica utilizando a metodologia descrita em Malavolta et al. (1997). Calcularam-se as eficiências de absorção [conteúdo total de nutriente na planta (mg)/massa seca das raízes (g)]; eficiência de transporte [conteúdo de nutriente na parte aérea (mg)/ conteúdo total de nutriente na planta (mg) x 100]; e eficiência de utilização {[matéria seca total produzida (g)]²/ conteúdo total nutrientes na planta (mg)}, para nitrogênio e fósforo.

Os dados de teor e conteúdo de nitrogênio e fósforo na parte aérea, na raiz e nas maçãs; a eficiência de absorção, transporte e utilização de nitrogênio e fósforo foram submetidos à análise de variância e regressão múltipla com o auxílio do pacote estatístico SAS®, pelo procedimento RSREG. As análises que apresentaram “ponto de sela” foram descartadas, sendo utilizados no modelo apenas os parâmetros cuja probabilidade de “t” foi menor que 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve resposta significativa das concentrações de boro para teor de nitrogênio na raiz (TNR), teor de fósforo na parte aérea (TPPA), teor de fósforo na raiz (TPR), teor de fósforo na maçã (TPM), conteúdo de fósforo na parte aérea (CPPA), conteúdo de fósforo na raiz (CPR), conteúdo de fósforo na maçã (CPM), eficiência de absorção de fósforo (EAB), eficiência de transporte de fósforo (ETP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) (Tabelas 1 e 2). As concentrações de B e/ou Zn na solução nutritiva não afetaram o teor de N na parte aérea e nos frutos; o conteúdo de N na parte aérea, na raiz e nos frutos; e as eficiências de absorção, transporte e utilização de N pelo algodoeiro (Tabela 1). A interação B x Zn não foi observada para nenhuma das variáveis estudadas (Tabela 1 e 2).

O teor de nitrogênio foi alterado significativamente na raiz do algodoeiro apenas em função das concentrações de boro na solução nutritiva (Tabela 1), tendo efeito linear positivo (Figura 1). Este efeito constitui um sinergismo, pois a maior concentração de B na solução proporcionou maior concentração de N nas raízes. Este mesmo fenômeno também foi encontrado em tabaco, onde o teor de N nas raízes aumentou notavelmente, quase 100%, entre a concentração mais baixa e a mais elevada de B na solução nutritiva (LÓPEZ-LEFEBRE et al. 2002a,b). Mozafar (1989), trabalhando com milho híbrido, também observaram maiores teores de N nas raízes, atingindo um aumento de quase 30% entre as concentrações de 0,01 e 0,021 $\mu\text{M L}^{-1}$ de B. Ruiz et al. (1998) indicam um efeito positivo do B no metabolismo N, resultando em aumento na síntese de proteínas e enzimas. López-Lefebre et al. (2002,a,b) verificaram que o suprimento de B estimula a assimilação e a utilização do N por plantas de tabaco, e que, além disso, a alta taxa de assimilação causa um progressivo acúmulo de aminoácidos e proteínas e um aumento na produção de matéria seca. No entanto, resultados contrários foram relatados por Dursun et al. (2010) para a cultura do tomate, do pepino e da pimenta; e por Esringu et al. (2011) para cultura do morango.

O teor de P na parte aérea, na raiz e nos frutos do algodoeiro foram significativamente influenciados apenas pelas concentrações de boro na solução nutritiva (Tabela 2), tendo efeito linear negativo para parte aérea e frutos. Com a maior concentração de B, de 80 $\mu\text{M L}^{-1}$, os teores de P na parte aérea e nos frutos foram significativamente menores quando comparados com tratamentos que não receberam a aplicação do elemento e com a aplicação de dose intermediária de 20 $\mu\text{M L}^{-1}$ (Figura 2a e 2c). O teor de P na raiz apresentou comportamento quadrático, sendo que a menor concentração ocorreu na dose de 20 $\mu\text{M L}^{-1}$ de B (Figura 2b). Estes resultados são concordantes aos encontrados por López-Lefebre et al. (2002a,b) para a cultura do tabaco; Esringu et al. (2011) para cultura do

morango; e por Dursun et al. (2010) para as culturas do tomate, do pepino e da pimenta. As diferentes respostas são devidas aos diferentes órgãos da planta e espécies estudadas.

O conteúdo de P na parte área, na raiz e nos frutos do algodoeiro diminuiu linearmente com o aumento das concentrações de B (Figura 3a, 3b e 3c), de maneira que as maiores concentrações desse micronutriente na solução nutritiva proporcionaram menor absorção P pelas raízes do algodoeiro (Figura 4a e 4b). Ziaeyana e Rajaie (2009) também verificaram redução no acúmulo de P nas folhas de milho em função do suprimento crescente de B, o que pode estar associado ao efeito de diluição. Resultados contrários foram observados por Rajaie et al. (2009) na cultura do limão e por Hosseini et al. (2007) na cultura do milho, em que os incrementos de B na solução aumentaram significativamente o acúmulo de P nas folhas.

A eficiência da nutrição fosfatada (absorção, transporte e utilização - EAP, ETP e EUP, respectivamente) responderam às concentrações de B na solução nutritiva (Tabela 2). A EAP e a ETP diminuiram linearmente à medida em que a concentração de B foi aumentada na solução nutritiva (Figura 4a e 4b). Na ausência de B, o algodoeiro foi mais eficiente na absorção e no transporte do P para parte aérea do que na maior concentração deste elemento. Resultados contrários foram obtidos por Rajaie et al. (2009) para cultura do limão, onde a combinação B e Zn proporcionou alta absorção de fósforo, sugerindo que a interação B x Zn ajuda a manter equilíbrio nutricional. A EUP foi influenciada positivamente pelo aumento das concentrações de B na solução nutritiva (Figura 4c). A eficiência de utilização do P oscilou entre 16,48 – 25,59 g de massa seca por miligrama de nutriente absorvido, caracterizando um importante diferencial que deve ser considerado na avaliação nutricional.

CONCLUSÕES

O teor de nitrogênio na raiz do algodoeiro aumentou com o suprimento de B, refletindo em melhoria no estado nutricional. O teor e o conteúdo de P na parte área, na raiz e nos frutos do algodoeiro diminuíram com o aumento das concentrações de B na solução nutritiva. A presença de B diminuiu a eficiência de absorção e transporte de fósforo, e aumentou a sua eficiência de utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBER, S. A. Soil plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: SSSA, 1981. p. 591-616,

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach**. New York: Wiley-Interscience, 1984. 398p.

CAKMAK, I; ROMHEL, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P. H.; BELL, R. W. (Ed.). Boron in soil and plants: review. **Symposium, Chiang Mai, reprinted Plant and Soil**, v. 193, p. 71-83.1997.

DURSON, A.; TURAN, M.; EKINCI, M.; GUNES, A.; ATAOLGU, N.; ESRINGU, A.; YILDIRIM, E. Effects of boron fertilizer on tomato, pepper and cucumber yields and chemical composition. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, p. 1576-1593, 2010.

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

ESRINGU, A., TURAN, M.; GUNES, A.; ESITKEN, A.; SAMBO, P. Boron application improves on yield and chemical composition of strawberry. *Plant Soil Science*, v. 8, p. 1651-1913, 2011.

GERLOFF, G. C.; GABELMAN W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LÄUCHLI, A; BIELESKI, R.L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. p. 453-480.

GREWAL, H. S. G.; GRAHAM, R. D.; STANGOULIS, J. Zinc-boron interaction effects in oilseed rape. **Journal Plant of Nutrition**, v. 21,n. 10, p. 2231-2243, 1998.

GRAHAM, R. D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. _____. **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger Scientific, 1984. v.1, p. 57-102

HOSSEINI, S. M.; MAFTOUN, M.; KARIMIAN, N.; ROUNAGHI, A.; EMAN, Y. Effect of zinc × boron interaction on plant growth and tissue nutrient concentration of corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30, p. 773-781, 2007.

LÓPEZ-LEFEBRE, L. R.; RIVERO, R. M.; GARCIA, P. C.; SANCHEZ, E.; RUIZ, J. M.; ROMERO, L. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 3, p. 509-522, 2002a.

LÓPEZ-LEFREBE, L.R; RUIZ, J. M; RIVERO, L. R; GARCÍA, P. C; SANCHEZ, E.; ROMERO,L. Supplemental boron stimulates ammonium assimilation in leaves of tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.). **Plant Growth Regulation**. v. 36, p. 231-236, 2002b.

MALAVOLTA, E.; VITTI, C.G.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

MCDONALD, A. J. S.; ERICSSON, T.; LARSSON, C. Plant Nutrition, Dry Matter Gain and Partitioning at the Whole-Plant Level. **Journal of Experimental Botany**. v. 47, p.1245-1253, 1996.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MENGEL, K.; KIRBY, A. **Principles of plant nutrition**. Bern, International Potash Institute, 1987. 687 p.
- MOZAFAR, A. Boron effect on mineral nutrition of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 285-290, 1989.
- RAJAIE, M.; EJRAIE, A. K.; OWLIAIE, H. R.; TAVAKOLI. Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings in a calcareous soil. **International Journal of Plant Production**, v. 3, n.1, p. 39-50, 2009.
- RUIZ, J. M.; BAGHOUR, M.; BRETONES, G.; BELAHIR, A.; ROMERO, L. Nitrogen Metabolism in Tobacco Plants (*Nicotiana tabacum* L.): Role of Boron as a Possible Regulatory Factor. **Int. Journal of Experimental Botany**. v. 159, p.121-126, 1998.
- SACRAMENTO, L. V. S.; ROSOLEM, C. A. Eficiência de absorção e utilização de potássio por plantas de soja em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 57, n. 2, p. 355-365, 1998.
- ZIAEYANA, A. H.; RAJAIE, M. Combines effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn. **International Journal of Plant Production**, v. 3, p. 35-44, 2009.

Tabela 1- Valores de probabilidade ($Pr > F$) e CV obtidos a partir do ajuste de regressão para teor de nitrogênio na parte aérea (TNPA), teor nitrogênio na raiz (TNR), teor de nitrogênio na maçã (TNM), conteúdo de nitrogênio na parte aérea (CNPA), conteúdo nitrogênio na raiz (CNR), conteúdo de nitrogênio na maçã (CNM), eficiência de absorção do nitrogênio (EAN), eficiência de transporte do nitrogênio (ETN) e eficiência de utilização do nitrogênio (EUN) pelo algodoeiro em função das concentrações de boro, zinco e a interação entre os nutrientes na solução nutritiva.

Parâmetros da regressão	Pr > F								
	TNPA	TNR	TNM	CNPA	CNR	CNM	EAN	ETN	EUN
B	0,7992	0,0384	0,7356	0,9760	0,6704	0,2461	0,4776	0,3481	0,3239
Zn	0,5212	0,8762	0,0983	0,3398	0,8768	0,2093	0,2178	0,2034	0,1466
B x B	0,9695	0,0121	0,8239	0,9978	0,4678	0,9984	0,6052	0,4885	0,2027
Zn x B	0,2659	0,6041	0,4249	0,0797	0,5800	0,2327	0,5853	0,6519	0,1766
Zn x Zn	0,4343	0,8456	0,1820	0,1232	0,9185	0,0923	0,1945	0,1333	0,2341
CV (%)	6,23	7,49	5,84	10,07	21,57	19,62	15,91	6,17	10,31

*B: Boro; Zn: Zinco; CV: Coeficiente de variação.

* Negrito: probabilidade de "t" menor que 0,05.

Tabela 2- Valores de probabilidade ($Pr > F$) e CV obtidos a partir do ajuste de regressão para teor de fósforo na parte aérea (TPPA), teor de fósforo na raiz (TPR), teor de fósforo na maçã (TPM), conteúdo de fósforo na parte aérea (CPPA), conteúdo de fósforo na raiz (CPR), conteúdo de fósforo na maçã (CPM), eficiência de absorção de fósforo (EAB), eficiência de transporte de fósforo (ETP) e eficiência de utilização de fósforo (EUP) pelo algodoeiro em função das concentrações de boro, zinco e a interação entre os nutrientes na solução nutritiva.

Parâmetros da regressão	Pr > F								
	TPPA	TPR	TPM	CPPA	CPR	CPM	EAP	ETP	EUP
B	0,0001	0,0127	0,0001	0,0001	0,0399	0,0031	0,0001	0,0057	0,0001
Zn	0,2455	0,6382	0,6526	0,2874	0,3680	0,0775	0,4382	0,0541	0,1756
B x B	0,0001	0,0132	0,0001	0,0001	0,0647	0,0004	0,0001	0,0112	0,0001
Zn x B	0,0827	0,4948	0,9311	0,3310	0,1937	0,4857	0,1516	0,1024	0,3207
Zn x Zn	0,4535	0,9248	0,7612	0,6473	0,8612	0,1382	0,6026	0,5053	0,1821
CV (%)	30,37	29,95	23,33	29,24	34,87	30,41	25,82	14,97	30,86

*B: Boro; Zn: Zinco; CV: Coeficiente de variação.

* Negrito: probabilidade de "t" menor que 0,05.

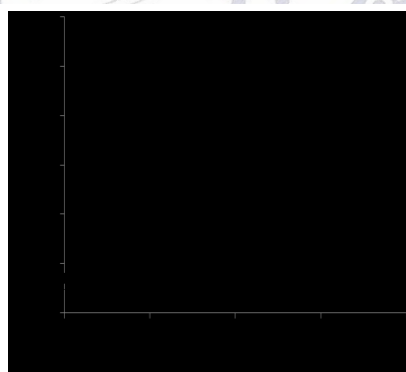


Figura 1- Teor de N na raiz do algodoeiro em resposta as concentrações de boro na solução nutritiva.

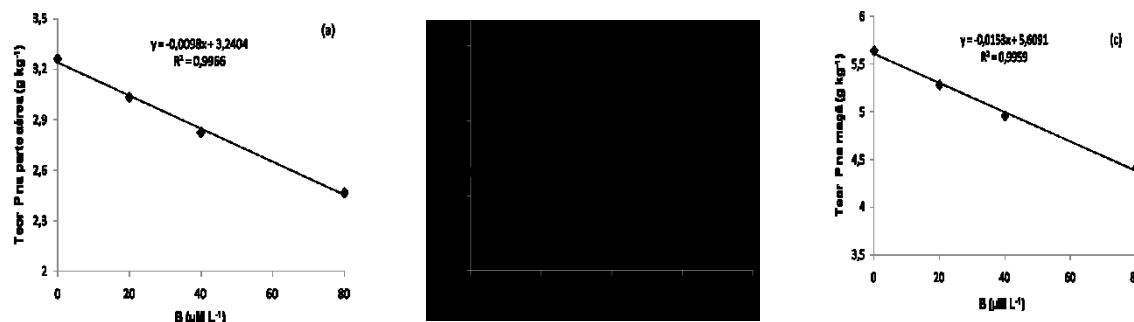


Figura 2- Teor de P na parte aérea (a), na raiz (b) e nos frutos (c) do algodoeiro em resposta às concentrações de boro na solução nutritiva.

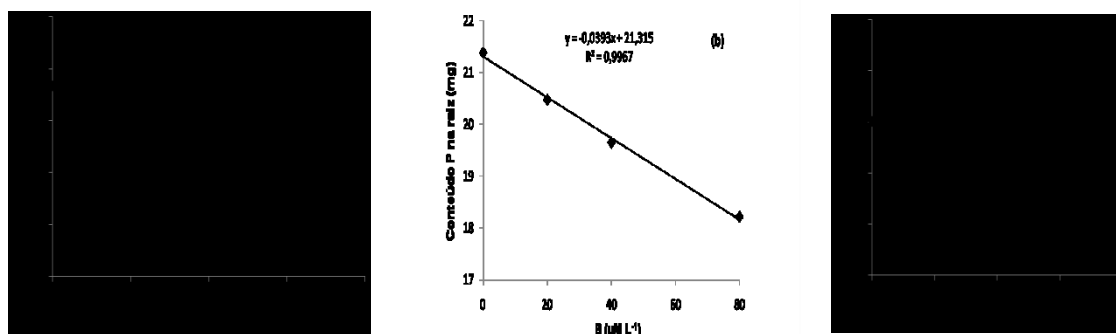


Figura 3- Conteúdo de P na parte aérea (a), na raiz (b) e nos frutos (c) do algodoeiro em resposta às concentrações de boro na solução nutritiva.

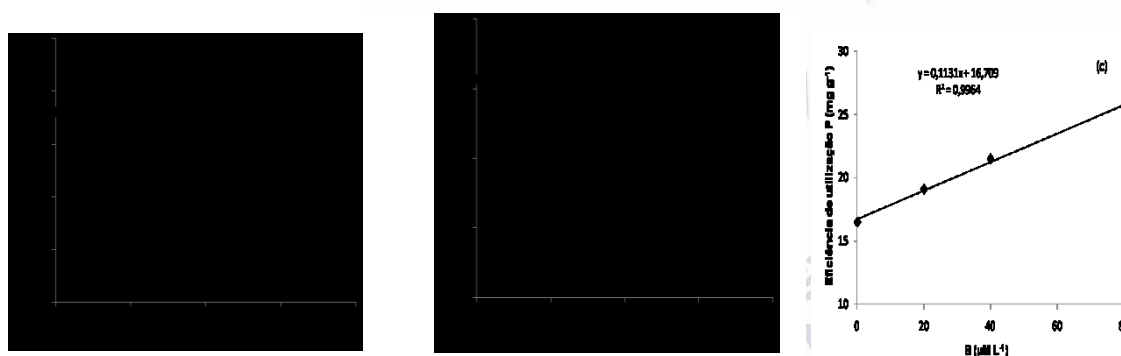


Figura 4- Eficiência de absorção (a), transporte (b) e utilização (c) do P pelo algodoeiro em resposta às concentrações de B na solução nutritiva.