

# Eficiência de Uso e Resposta à Aplicação de Fósforo de Cultivares de Algodão em Solo do Cerrado

## Use Efficiency and Response to the Application of Phosphorus from Cotton Cultivars in the Tropical Soil of the Cerrado

Ana Letícia Ribeiro Marques<sup>a</sup>; Isabella Santos de Oliveira<sup>a</sup>; João Vitor Ferreira Lima Guedes<sup>a</sup>; Jorge González Aguilera<sup>a</sup>; Alan Mario Zuffo<sup>b</sup>; Fábio Steiner<sup>\*ac</sup>

<sup>a</sup>Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Curso Agronomia, MS, Brasil.

<sup>b</sup>Universidade Estadual do Maranhão, Curso de Agronomia, MA, Brasil.

<sup>c</sup>Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, MS, Brasil.

\*E-mail: [steiner@uemms.br](mailto:steiner@uemms.br)

### Resumo

A identificação de cultivares de algodão com maior eficiência de absorção e utilização do fósforo (P) em solos tropicais é importante para potencializar a produção agrícola dos solos do Cerrado. Este estudo foi realizado com a finalidade de avaliar a resposta e a eficiência de uso de P por 22 cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cultivadas sob dois níveis de adubação fosfatada. O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial  $2 \times 22$  com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da aplicação de dois níveis de adubação fosfatada [20 mg kg<sup>-1</sup> de P (nível baixo) e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P (nível alto)] e por 22 cultivares de algodão. Aos 55 dias após a emergência, foram avaliadas as características morfológicas das plantas. Com base nos dados de produção de matéria seca da parte aérea foram calculadas a eficiência de uso de P e a eficiência de resposta à adubação fosfatada. As cultivares de algodão FM 912 GLTP, FM 944 GL, FM 974 GLT, FM 983 GLT, TMG 22 GLTP e TMG 47 B2RF foram classificadas como eficientes e responsivas e devem ser recomendadas para o cultivo em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P e áreas adubadas com altas doses de fertilizantes fosfatados. As cultivares FM 906 GLT, FM 942 TLP, FM 970 GLTP RM, FM 976 TLP, TMG 31 B3RF, TMG 50 WS3, TMG 91 WS3 foram classificadas como não eficientes e responsivas e são mais indicadas para serem cultivadas em áreas agrícolas que utilizam a aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados. As cultivares FM 911 GLTP, FM 954 GLT, TMG 21 GLTP, TMG 30 B3RF, TMG 44 B2RF, DP 1746 B2F e IMA 5801 B2F foram classificadas como eficientes e não-responsivas e são mais indicadas para serem cultivadas em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P. Os resultados mostram o potencial de escolha e a possibilidade de recomendar materiais genéticos adequados para cada sistema de produção agrícola.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L. Adubação Fosfatada. Solos Tropicais.

### Abstract

*The identification of cotton cultivars with greater phosphorus (P) absorption and use efficiency in tropical soils is important to enhance agricultural production in Cerrado soils. This study was carried out with the aim of evaluating the response and efficiency of P use by 22 cotton cultivars (*Gossypium hirsutum* L.) cultivated under two levels of phosphorus fertilization. The experiment was conducted in a randomized block design in a  $2 \times 22$  factorial scheme with four replications. The treatments consisted of the application of two levels of phosphorus fertilization [20 mg kg<sup>-1</sup> P (low level) and 200 mg kg<sup>-1</sup> P (high level)] and 22 cotton cultivars. At 55 days after emergence, the morphological characteristics of the plants were evaluated. Based on the shoot dry matter production data, P use efficiency and response efficiency to phosphate fertilization were calculated. The cotton cultivars FM 912 GLTP, FM 944 GL, FM 974 GLT, FM 983 GLT, TMG 22 GLTP and TMG 47 B2RF were classified as efficient and responsive and should be recommended for cultivation in agricultural areas with soils with low P availability. and areas fertilized with high doses of phosphate fertilizers. The cultivars FM 906 GLT, FM 942 TLP, FM 970 GLTP RM, FM 976 TLP, TMG 31 B3RF, TMG 50 WS3, TMG 91 WS3 were classified as non-efficient and responsive and are more suitable for cultivation in agricultural areas that use application of high doses of phosphate fertilizers. The cultivars FM 911 GLTP, FM 954 GLT, TMG 21 GLTP, TMG 30 B3RF, TMG 44 B2RF, DP 1746 B2F and IMA 5801 B2F were classified as efficient and non-responsive and are best suited for cultivation in agricultural areas with soils of low availability of P. The results show the potential for choice and the possibility of recommending suitable genetic materials for each agricultural production system.*

**Keywords:** *Gossypium hirsutum* L. Phosphate Fertilization. Tropical Soils.

### 1 Introdução

O Bioma Cerrado ocupa 203,4 milhões de hectares da região Central do Brasil, representando cerca de 24% do território nacional e 50% da área agrícola do país. Atualmente, é a maior região produtora de algodão do país, representando de 95 a 98% da produção nacional (Vilela et al., 2020), sendo que os estados de Mato Grosso e Bahia são os maiores produtores do país. Na safra 2022/2023, a cultura de algodão

ocupou uma área de plantio de 1,65 milhões de hectares, com produção total de pluma estimada de 3,0 milhões de toneladas, o que representa produtividade média de 1.827 kg ha<sup>-1</sup> (Conab, 2023).

A produção de algodão na região do Cerrado certamente continuará a ser um importante impulsionador do crescimento econômico agrícola do Brasil nos próximos anos (Melo; Bellen, 2022). No entanto, os solos do Cerrado são, geralmente, ácidos e deficientes em elementos essenciais às plantas, tais

como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e micronutrientes (Cassol et al., 2023; Fageria; Nascente, 2014; Santos et al., 2018), o que tem dificultado o aumento dos níveis de produtividade dessa cultura nessa região (Gomes et al., 2019).

Os Neossolos Quartzarênicos (RQ) são um dos principais grupos de solos que ocorrem na região do Cerrado, os quais abrangem cerca de 20% das áreas desse Bioma, sendo superado apenas pelos Latossolos, que ocupam 52% da área total (Santos et al., 2018). Os RQ são derivados de sedimentos arenosos de baixa fertilidade natural, caracterizam-se por serem solos profundos, porosos e com elevado grau de intemperismo e baixa capacidade de retenção de água (Fageria; Nascente, 2014; Sousa; Lobato, 2004). Além disso, estes solos possuem o predomínio de argilas de baixa atividade, como caulinita e (óxi)hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), o que favorece a adsorção do P aos constituintes do solo (Schoninger; Gatiboni; Ermani, 2013).

Os óxidos de Fe e Al apresentam carga variável dependendo do pH do solo e em solos ácidos, os óxidos de Fe e Al possuem, preferencialmente, cargas positivas, sendo, portanto, capazes de reter íons fosfatos as partículas de solo (Johan et al., 2021). Neste contexto, altas doses de fertilizantes fosfatados têm sido aplicadas nos sistemas agrícolas da região tropical brasileira, o que vem onerando os custos de produção, e causando prejuízos aos agricultores (Damaceno et al., 2019; Santos et al., 2020). Desta forma, são necessários estudos para avaliar a eficiência de absorção e utilização de P das principais cultivares de algodão produzidas no Cerrado (Marcante et al., 2016).

A deficiência de P no solo tem sido apontada como o principal fator que limita o crescimento e a produtividade das culturas (Ardon et al., 2022; Marcante et al., 2016; Ribeiro et al., 2016; Schoninger; Gatiboni; Ermani, 2013). No cultivo do algodão, a baixa disponibilidade de P do solo reduz o porte das plantas, a emissão de flores e aumenta na taxa de abortamento dos botões florais, flores e maçã (Borém; Freire, 2014). A resposta do algodão à adubação fosfatada em solos de baixa fertilidade tem sido praticamente crescente com o aumento da quantidade de P aplicado (Barbosa et al., 2015; IQBAL et al., 2020). No entanto, as distintas cultivares de algodão recomendadas para o mesmo sistema de produção e tipo de solo, possuem respostas diferentes à disponibilidade de P do solo.

Uma das estratégias para melhorar a absorção e a utilização dos fertilizantes fosfatados consiste na utilização de cultivares de algodão com alta eficiência em extrair e utilizar o P do solo, reduzindo, assim, os gastos com fertilizantes fosfatados. A eficiência de uso de P está associada à capacidade do sistema radicular das cultivares de algodão em extrair altas quantidades de P do solo e translocá-lo para a parte aérea da planta (Marcante et al., 2016). Além disso, algumas espécies vegetais possuem a capacidade de solubilizar P do

solo, principalmente o P não-lábil, mediante a exsudação de ácidos orgânicos pelas suas raízes, que atuam na dissolução do P adsorvido aos coloides do solo, disponibilizando-os na solução para às plantas (Chien; Menon, 1995).

A avaliação e a identificação de cultivares de algodão com maior eficiência de uso e resposta à adubação fosfatada em solos tropicais do Cerrado pode ser alternativa economicamente viável para potencializar a produtividade da cultura em condições de baixa disponibilidade de P no solo. Portanto, estudos que visam classificar cultivares de algodão eficientes e responsivos à adubação fosfatada se tornam importante para a pesquisa agrícola.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a resposta e a eficiência de uso de P por 22 cultivares de algodão [*Gossypium hirsutum* (L.)] cultivadas em solo tropical do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

## 2 Material e Métodos

A pesquisa foi realizada em condições de casa de vegetação na Estação Experimental de Produção Vegetal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em Cassilândia, MS (19°05'29" S; 51°48'50" W e altitude média de 540 m), no período de novembro de 2020 a fevereiro de 2021. Durante a condução do experimento, as condições ambientais no interior da casa de vegetação foram: temperatura mínima e máxima do ar de 27,1 e 36,8 °C, respectivamente, e umidade relativa média de 75% (±7%).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, disposto em esquema fatorial 2 × 22, com quatro repetições, totalizando 176 parcelas (vasos) experimentais. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de dois níveis de adubação fosfatada [20 mg kg<sup>-1</sup> de P (nível baixo) e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P (nível alto)] e por 22 cultivares de algodão (Quadro 1). As doses de P na forma de superfosfato triplo (SFT) foram homogeneizadas com todo volume de solo do vaso no momento da semeadura do algodão.

As sementes das cultivares comerciais de algodão utilizadas neste estudo foram adquiridas da Fundação Chapadão, localizada no município de Chapadão do Sul (MS) durante os meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021.

**Quadro 1** - Cultivares de algodão utilizadas neste estudo para avaliação da eficiência de uso do fósforo

Nº	Cultivar	Características Agronômicas		
		Ciclo (dias)	Taxa Crescimento	Tecnologia
1	FM 906	Precoce (150-160 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GLT
2	FM 911	Precoce (140-150 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GLTP
3	FM 912	Precoce (140-160 dias)	1,2 cm dia <sup>-1</sup>	GLTP RM
4	FM 942	Médio (160-170 dias)	1,2 cm dia <sup>-1</sup>	TLP
5	FM 944	Médio (160-180 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GL

Nº	Cultivar	Características Agronômicas		
		Ciclo (dias)	Taxa Crescimento	Tecnologia
6	FM 954	Médio (160-180 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GLT
7	FM 970	Médio (160-180 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GLTP RM
8	FM 974	Médio (170-180 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GLT
9	FM 976	Tardio (180-190 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	TLP
10	FM 978	Tardio (180-190 dias)	1,2 cm dia <sup>-1</sup>	GLTP RM
11	FM 983	Tardio (180-200 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GLT
12	FM 985	Tardio (180-190 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GLTP
13	TMG 21	Médio-Precoce (150-170 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	GLTP
14	TMG 22	Médio (160-180 dias)	1,2 cm dia <sup>-1</sup>	GLTP
15	TMG 30	Médio-precoce (150-170 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	B3RF
16	TMG 31	Médio-precoce (150-170 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	B3RF
17	TMG 44	Médio-precoce (150-170 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	B2RF
18	TMG 47	Médio-Tardio (170-190 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	B2RF
19	TMG 50	Precoce (140-160 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	WS3
20	TMG 91	Tardio (180-200 dias)	1,2 cm dia <sup>-1</sup>	WS3
21	DP 1746	Tardio (180-200 dias)	1,0 cm dia <sup>-1</sup>	B2RF
22	IMA 5801	Médio-precoce (150-170 dias)	cm dia <sup>-1</sup>	B2RF

GL = GlyTol® e LibertyLink®. GLT = GlyTol®, LibertyLink® e TwinLink®. GLTP = GlyTol®, LibertyLink® e TwinLink Plus®. GLTP RM = GlyTol®, LibertyLink®, TwinLink Plus® e resistência múltipla (Ramulária e Nematóide de Galha). TLP = TwinLink Plus®. B2RF = Bollgard 2 RR Flex®. B3RF = Bollgard 3 RR Flex®. WS3 = WideStrike 3®.

**Fonte:** dados da pesquisa.

Foram utilizados vasos plásticos com 12 dm<sup>3</sup> de capacidade, preenchidos com 11 dm<sup>3</sup> de solo arenoso peneirado em malha de 5 mm, proveniente da camada superficial de 0,0–0,20 m de um Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico (NQo) (Santos et al., 2018).

O solo foi coletado em uma área de pastagem nativa sem histórico de cultivo agrícola. Solo de áreas sem histórico de uso agrícola é considerado ideal para investigar a resposta e a eficiência da adubação fosfatada. A análise química do solo foi efetuada seguindo as indicações da Embrapa (2009) e as principais características químicas do solo são mostradas no Quadro 2.

**Quadro 2** - Características químicas do solo arenoso coletado na camada de 0,0–0,20 m antes da aplicação de corretivo

pH	P	MO	H <sup>+</sup> Al	Al	K	Ca	Mg	CTC	V
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
4,6	7,8	14,0	3,60	0,25	0,10	1,50	0,50	5,70	37

pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>. Extrator de P Mehlich-1.

**Fonte:** dados da pesquisa.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de 1,11 g dm<sup>-3</sup> de calcário (CaO: 38%; MgO: 11% e PRNT: 85%), visando elevar a saturação por base do solo a 70% (Sousa; Lobato, 2004). Após a aplicação do calcário, o solo foi homogeneizado, umedecido até próximo da capacidade de retenção de água, e incubado por 50 dias. Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 30 mg kg<sup>-1</sup> de N (ureia), 150 mg kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), 15 mg kg<sup>-1</sup> de S (gesso agrícola), 3 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (sulfato de cobre), 3 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (sulfato de zinco), 1 mg kg<sup>-1</sup> de Mo (molibdato de amônio) e 2 mg kg<sup>-1</sup> de B (ácido bórico), seguindo as recomendações de Novais et al. (1991) para ensaios em vasos sob condições de casa de vegetação. Após a adubação, o solo foi acondicionado nos vasos plásticos de 12 dm<sup>3</sup>, os quais foram mantidos em condições de casa de vegetação e, então, submetidos ao cultivo de algodão.

As sementes de algodão foram previamente tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top®) na dose de 4,0 mL kg<sup>-1</sup> de semente (Goulart, 2001). Foram semeadas oito sementes de algodão por vaso, e aos 12 dias, realizou-se o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. O teor de água do solo foi monitorado diariamente e mantido próximo da capacidade máxima de retenção de água com reposições diárias até o final do cultivo. O manejo fitossanitário das plantas nos vasos seguiu todos os procedimentos e recomendações adotadas nas lavouras comerciais de algodão, incluindo o monitoramento, o controle de pragas e doenças, e a aplicação de inseticidas e fungicidas. Aos 30 e 45 dias após a emergência das plantas também foram aplicados 50 mg kg<sup>-1</sup> de N em cobertura na forma de ureia (45% de N).

Aos 45 dias após a emergência das plantas, no estágio fenológico F4 (Marur; Ruano, 2001) foram efetuadas amostragens de folhas para avaliação do teor de P no tecido foliar das plantas de algodão. Foram coletadas três folhas por unidade experimental (vaso), as quais foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar à 65 °C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram moídas e submetidas à determinação do teor de P conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Aos 55 dias após a emergência, as plantas foram retiradas dos vasos, e as raízes lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 3,0 mm, para remoção do solo. Em seguida, foram avaliadas as seguintes características morfológicas: altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar

(AF), matéria seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST).

A AP foi mensurada a partir do nível do solo até a inserção do meristema apical das plantas com o auxílio de uma fita métrica. O DC foi mensurado no caule principal à 5 cm da superfície do solo utilizando-se um paquímetro digital. A determinação da produção de MSPA (folhas, caules e flores) e MSR foi realizada após a secagem do material em estufa de circulação forçada de ar à 65 °C, por 72 horas. A MST foi obtida pela soma de todas as partes da planta (folhas, caules, flores e raízes). A área foliar foi estimada utilizando-se a Equação 1 proposta por Monteiro et al. (2005):

$$AF = 0,9867 \times MSF \quad [\text{Eq. 1}]$$

sendo que, AF é a área foliar; MSF é a massa de matéria seca das folhas; e, 0,9867 é o fator de massa “fm”.

A eficiência do uso de fósforo (EU) de cada cultivar em cada nível de adubação fosfatada foi calculada segundo metodologia de Moll et al. (1982), conforme a Equação 2:

$$EU_{ij} = \frac{MSPA_{ij}}{P_{sj}} \quad [\text{Eq. 2}]$$

sendo que,  $EU_{ij}$  é a eficiência do uso de P da i-ésima cultivar, com i variando de 1 a 22, no j-ésimo nível de adubação, com j variando de 1 a 2, sendo os dois níveis de adubação fosfatada (baixa e alta);  $MSPA_{ij}$  é a produção de matéria seca da parte aérea (em gramas) da i-ésima cultivar no j-ésimo nível de adubação; e,  $P_{sj}$  é a dose de P aplicada ao solo (em gramas) referente ao j-ésimo nível de adubação.

A eficiência de resposta (ER) das cultivares à disponibilidade de P no solo foi calculada conforme a metodologia de Craswell e Godwin (1984), apresentada na Equação 3:

$$ER_i = \left( \frac{\Delta MSPA_i}{\Delta DP_s} \right) \quad [\text{Eq. 3}]$$

em que,  $ER_i$  é a eficiência de resposta da i-ésima cultivar à disponibilidade do P, com i variando de 1 a 22;  $\Delta MSPA_i$  é a diferença da produção de matéria seca da parte aérea (em gramas) nos dois níveis de adubação fosfatada (baixa e alta) para i-ésima cultivar; e,  $\Delta DP_s$  é a diferença entre as doses de P aplicadas (em gramas) nos dois níveis de adubação fosfatada.

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F em nível de 5% de probabilidade e as médias foram submetidas ao teste de agrupamento de médias Scott-Knott ( $p < 0,01$ ) com o objetivo de discriminar as cultivares entre e dentro dos níveis de adubação fosfatada. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Sisvar® versão 5.6 para Windows (Ferreira, 2011). Os gráficos foram elaborados por meio do pacote estatístico do Microsoft Office Excel® 2016 (Microsoft Office 365TM).

O método proposto por Fageria e Kluthcouski (1980) foi utilizado com a finalidade de discriminar as cultivares de algodão quanto à eficiência de uso de P e à resposta à adubação fosfatada, para tanto, uma representação gráfica no plano cartesiano foi utilizada. O eixo das abscissas equivale à

eficiência de uso do P, ou seja, refere-se à média de produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) em ambiente de baixa disponibilidade de P. Por sua vez, o eixo das ordenadas equivale à resposta quanto à disponibilidade de P ( $ER_i$ ), ou seja, a diferença entre a produção de matéria seca da parte aérea nos dois níveis de adubação fosfatada dividida pela diferença entre as doses de P aplicadas.

**Figura 1** - Representação gráfica do plano cartesiano para a classificação das cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) quanto à eficiência de uso do P e à resposta à adubação fosfatada

Resposta à adubação fosfatada	II Não-eficiente e Responsivo (NER)	I Eficiente e Responsivo (ER)
	III Não-eficiente e Não-responsivo (NENR)	IV Eficiente e Não-responsivo (ENR)
<b>Eficiência de uso do P</b>		

Fonte: Adaptado de Fageria e Kluthcouski (1980).

O método preconiza que uma reta originada do valor médio de cada eixo cartesiano seja traçada, fazendo com que o plano cartesiano seja dividido em quadrantes (Figura 1). O primeiro quadrante, representa as cultivares eficientes e responsivas (ER), ou seja, aquelas que possuem valores acima da média para os dois eixos cartesianos. O segundo quadrante, representa as cultivares não-eficientes e responsivas (NER), ou seja, aquelas que possuem valores abaixo da média para o eixo das abscissas e acima para o eixo das ordenadas. O terceiro quadrante, representa as cultivares não-eficientes e não-responsivas (NENR), ou seja, aquelas que possuem valores abaixo das médias dos dois eixos cartesianos. Por fim, o quarto quadrante, representa as cultivares de algodão eficientes e não-responsivas (ENR), ou seja, aquelas que possuem valores acima da média para o eixo das abscissas e abaixo para o eixo das ordenadas.

### 3 Resultados e Discussão

De acordo com o resumo da análise de variância houve efeito significativo da interação entre as cultivares de algodão e os níveis de adubação fosfatada para todas as características morfológicas das plantas (Quadro 2). Isso indica que as cultivares de algodão possuem respostas distintas quando são cultivadas em condições de baixa e alta disponibilidade de P no solo. Tal fato pode ser atribuído as características intrínsecas de cada material genético utilizado neste estudo (Iqbal et al., 2019; Farooq et al., 2021; Honda-Filho et al., 2022).

**Quadro 2** - Resumo da análise de variância para os efeitos das cultivares e dos níveis de adubação fosfatada nas características morfológicas das plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.)

Causas de Variação	Probabilidade > F					
	AP	DC	AF	MSPA	MSR	MST
Bloco	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000
Cultivar (C)	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	0,810	<0,000
Nível Fósforo (P)	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000
Interação (C × P)	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000
CV (%)	8,35	9,12	8,57	11,20	12,24	10,98

AP: altura de planta. DC: diâmetro do caule. AF: área foliar. MSPA: matéria seca da parte aérea. MSR: matéria seca das raízes. MST: matéria seca total.

Fonte: dados da pesquisa.

A aplicação do nível alto de adubação fosfatada resultou nos maiores valores para a altura de planta, diâmetro do caule e área foliar (Quadro 3). Estes resultados evidenciam a importância do adequado suprimento de P para os solos tropicais da região do Cerrado. O P desempenha papel importante no crescimento e no metabolismo fisiológico das plantas, especialmente na formação de ATP (Trifosfato de Adenosina), uma molécula que constitui a principal fonte de energia para a realização de processos como a fotossíntese, divisão celular, transporte de assimilados e carga genética (Taiz et al., 2017).

**Quadro 3** - Efeito dos níveis de adubação fosfatada na altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) das cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cultivadas em solo tropical do Cerrado

Cultivar	Nível de adubação fosfatada					
	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto
	AP (cm)		DC (mm)		AF (dm <sup>2</sup> )	
FM 906 GLT	64,9 c	78,3 d*	16,6 b	19,8 a*	13,3 a	19,6 b*
FM 911 GLTP	90,1 a	109,0 a*	17,1 a	19,9 a*	13,7 a	19,9 b*
FM 912 GLTP	67,2 c	88,3 c*	14,5 c	16,5 d*	11,6 b	17,9 c*
FM 942 TLP	70,0 b	84,0 c*	18,0 a	19,8 a*	14,4 a	19,2 b*
FM 944 GL	58,9 d	75,7 d*	15,7 b	17,4 c*	12,6 b	17,5 c*
FM 954 GLT	70,6 b	88,7 c*	16,0 b	17,5 c	12,8 b	20,0 b*
FM 970 GLTP RM	68,3 c	86,7 c*	13,2 d	14,5 c	10,5 c	21,9 a*
FM 974 GLT	74,7 b	92,7 b*	14,1 d	17,6 c*	11,3 b	20,0 b*
FM 976 TLP	69,7 c	83,7 c*	17,5 a	18,7 b	14,0 a	17,5 c*
FM 978 GLTP RM	72,5 b	89,0 b*	16,3 b	17,8 c	13,1 a	19,0 b*
FM 983 GLT	71,1 b	78,0 d	17,5 a	18,7 b	14,0 a	16,9 c*
FM 985 GLTP	60,6 c	75,3 d*	16,1 b	18,2 b*	12,9 b	18,7 b*
TMG 21 GLTP	74,2 b	92,3 b*	16,1 b	19,6 a*	12,9 b	23,0 a*
TMG 22 GLTP	58,7 c	83,3 c*	15,6 c	16,8 d	12,5 b	16,1 c*
TMG 30 B3RF	72,3 b	90,3 b*	15,3 c	18,0 b*	12,2 b	18,3 b*
TMG 31 B3RF	61,8 d	86,0 c*	16,6 b	18,8 b*	13,2 a	17,3 c*
TMG 44 B2RF	72,7 b	98,7 b*	17,8 a	19,6 a*	14,3 a	18,9 b*
TMG 47 B2RF	71,6 b	93,3 b*	16,3 b	17,0 c	14,1 a	18,4 b*
TMG 50 WS3	79,0 a	87,0 c	14,7 c	16,2 d	11,8 b	12,6 d
TMG 91 WS3	59,5 d	74,3 d*	13,0 d	16,4 d*	10,4 c	12,4 d
DP 1746 B2F	71,7 b	88,7 c*	16,1 b	17,5 c	12,9 b	19,7 b*
IMA 5801 B2F	74,2 b	83,0 c	15,4 c	17,2 c*	12,4 b	14,7 d*

Média seguida da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade. \* Os asteriscos mostram que houve diferença significativa (teste F; p < 0,05) entre os níveis de adubação fosfatada para o cultivar de algodão.

Fonte: dados da pesquisa.

O maior potencial de crescimento das plantas e o maior rendimento das culturas com a aplicação de altas doses de fertilizante fosfatado está relacionado à baixa concentração de P nos solos tropicais da região do Cerrado brasileiro (Macedo et al., 2023; Withers et al., 2018). A baixa disponibilidade desse nutriente para as plantas é devido à alta reatividade e à alta capacidade de fixação de P, em virtude da abundância de (óxi)hidróxidos de Fe e Al (Sousa; Lobato, 2004), que formam fosfatos estáveis. Por isso são necessárias à aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados, para que as culturas obtenham

alta produtividade, sendo comum o uso de fertilizantes de baixa solubilidade, para reduzir o custo de implantação de lavouras de algodão.

Em condições de baixa disponibilidade de P no solo, a altura das plantas variou de 58,7 a 90,1 cm, e foi maior nas cultivares FM 911 GLTP e TMG 50 WS3 (Quadro 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a altura das plantas variou de 74,3 a 109,0 cm, e foi maior na cultivar FM 911 GLTP (Quadro 3).

Em condições de baixa disponibilidade de P no solo, o

diâmetro do caule variou de 13,0 a 18,0 mm, e foi maior nas cultivares FM 911 GLTP, FM 942 TLP, FM 976 TLP, FM 983 GLT e TMG 44 B2RF (Quadro 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, o diâmetro do caule variou de 14,5 a 19,9 mm, e foi maior nas cultivares FM 906 GLT, FM 911 GLTP, FM 942 TLP, TMG 21 GLTP e TMG 44 B2RF (Quadro 3).

A área foliar das plantas de algodão em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 10,4 a 14,4 dm<sup>2</sup>, e foi maior nas cultivares FM 906 GLT, FM 911 GLTP, FM 942 TLP, FM 976 TLP, FM 978 GLTP RM, FM 983 GLT, TMG 31 B3RF, TMG 44 B2RF e TMG 47 B2RF (Quadro 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a área foliar variou de 12,4 a 23,0 dm<sup>2</sup>, e foi maior nas cultivares FM 970

GLTP RM e TMG 21 GLTP (Quadro 3).

A aplicação do nível alto de adubação fosfatada resultou nos maiores valores de matéria seca das plantas, exceto para a matéria seca das raízes (Quadro 4). A produção de matéria seca da parte aérea das plantas de algodão em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 14,5 a 23,3 g, e foi maior nas cultivares FM 912 GLTP, FM 974 GLT, FM 983 GLT, TMG 21 GLTP e TMG 44B2RF (Quadro 4). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a produção de matéria seca da parte aérea variou de 34,4 a 44,0 g, e foi maior nas cultivares FM 906 GLT, FM 912GLTP, FM 974 GLT, FM 983 GLT, TMG 21 GLTP, TMG 44 B2RF e TMG 47 B2RF (Quadro 4).

**Quadro 4** - Efeito dos níveis de adubação fosfatada na matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca total (MST) das cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cultivadas em solo tropical do Cerrado

Cultivar	Nível de adubação fosfatada					
	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto
	MSPA (g)		MSR (g)		MST (g)	
FM 906 GLT	18,6 c	41,5 a*	6,8 c	8,5 b*	25,4 c	50,0 a*
FM 911 GLTP	20,1 b	39,6 b*	9,3 a	9,2 b	29,3 b	48,8 b*
FM 912 GLTP	21,5 a	43,0 a*	6,8 c	7,9 b	28,3 b	50,9 a*
FM 942 TLP	15,3 d	35,8 c*	10,0 a	8,5 b*	25,3 c	44,4 c*
FM 944 GL	20,3 b	40,9 b*	8,9 b	8,2 b	29,1 b	49,2 b*
FM 954 GLT	19,7 b	36,9 c*	9,3 b	6,3 c*	29,0 b	43,2 c*
FM 970 GLTP RM	14,5 d	34,9 c*	7,1 c	7,5 c	21,6 d	42,5 c*
FM 974 GLT	22,0 a	44,0 a*	10,7 a	9,9 b	32,6 a	53,9 a*
FM 976 TLP	17,1 c	38,2 b*	9,1 b	8,1 b	26,2 c	46,3 b*
FM 978 GLTP RM	18,4 c	36,0 c*	10,1 a	9,7 b	28,5 b	45,8 c*
FM 983 GLT	21,5 a	43,5 a*	8,5 b	11,0 a*	29,9 b	54,4 a*
FM 985 GLTP	15,9 d	34,4 c*	8,4 b	10,6 a*	24,3 c	45,0 c*
TMG 21 GLTP	22,9 a	42,2 a*	10,9 a	12,2 a*	33,7 a	54,4 a*
TMG 22 GLTP	15,4 d	36,3 c*	7,3 c	10,0 a*	22,7 d	46,3 b*
TMG 30 B3RF	20,0 b	37,7 c*	10,4 a	12,1 a*	30,4 a	49,9 b*
TMG 31 B3RF	14,5 d	35,2 c*	7,9 c	8,6 b	22,4 d	43,8 c*
TMG 44 B2RF	23,3 a	42,8 a*	8,2 b	10,0 a*	31,5 a	52,8 a*
TMG 47 B2RF	19,7 b	42,0 a*	7,4 c	8,8 b*	27,1 b	50,8 a*
TMG 50 WS3	17,3 c	39,8 b*	7,1 c	11,4 a*	24,4 c	51,2 a*
TMG 91 WS3	15,4 d	37,9 b*	7,9 c	10,5 a*	23,2 d	48,4 b*
DP 1746 B2F	19,3 b	37,4 c*	8,1 b	11,4 a*	27,4 b	48,8 b*
IMA 5801 B2F	20,0 b	38,3 b*	6,8 c	9,7 b*	26,8 c	48,0 b*

Média seguida da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade. \* Os asteriscos mostram que houve diferença significativa (teste F;  $p \leq 0,05$ ) entre os níveis de adubação fosfatada para o cultivar de algodão.

Fonte: dados da pesquisa.

A produção de matéria seca das raízes das plantas de algodão em condições de baixa disponibilidade de P variou de 6,8 a 10,9 g, e foi maior nas cultivares FM 911 GLTP, FM 942 TLP, FM 974 GLT, FM 978 GLTP RM, TMG 21 GLTP e TMG 30 B3RF (Quadro 4). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a produção de matéria seca das raízes variou de 6,3 a 12,2 g, e foi maior nas cultivares FM 983 GLT, FM 985 GLTP, TMG 21 GLTP, TMG 22 GLTP, TMG 30 B3RF,

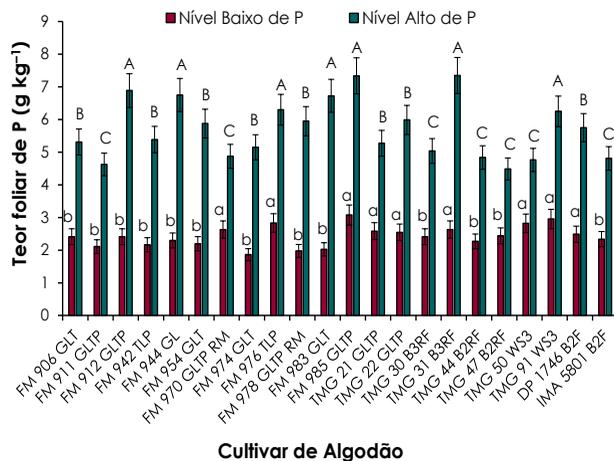
TMG 44 B2RF, TMG 50 WS3, TMG 91 WS3 e DP 1746 B2F (Quadro 4).

A produção de matéria seca total das plantas de algodão em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 21,6 a 33,7 g, e foi maior nas cultivares FM 974 GLT, TMG 21 GLTP, TMG 30 B3RF e TMG 44 B2RF (Quadro 4). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a produção de matéria seca total variou de 42,5 a 54,4 g, e foi maior nas

cultivares FM 906 GLT, FM 912 GLTP, FM 974 GLP, FM 983 GLP, TMG 21 GLTP, TMG 44 B2RF, TMG 47 B2RF e TMG 50 WS3 (Quadro 4).

O teor de P nas folhas das plantas de algodão cultivadas em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 1,98 a 3,08 g kg<sup>-1</sup> de P, e foi maior nas cultivares FM 970 GLTP RM, FM 976 TLP, FM 985 GLTP, TMG 21 GLTP, TMG 22 GLTP, TMG 31 B3RF, TMG 50 WS3, TMG 91 WS3 e DP 1746 B2F (Figura 2). A absorção de P pelas plantas de algodão com a aplicação de nível baixo de adubação fosfatada evidência que os teores de P no tecido foliar ficaram, de modo geral, dentro da faixa considerada adequada para a cultura. Segundo Malavolta et al. (1997), a faixa de teores adequados de P para a cultura do algodão situa-se entre 2,0 e 4,0 g kg<sup>-1</sup>.

**Figura 2** - Efeito dos níveis de adubação fosfatada no teor de P nas folhas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em solo tropical do Cerrado

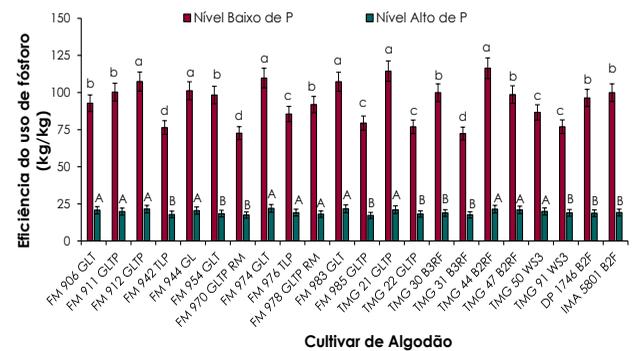


**Cultivar de Algodão**  
Barras seguidas da mesma letra minúscula para o nível baixo de adubação fosfatada (20 mg kg<sup>-1</sup> de P), ou seguida da mesma letra maiúscula o nível alto de adubação fosfatada (200 mg kg<sup>-1</sup> de P) não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade.  
**Fonte:** dados da pesquisa.

Em condições de alta disponibilidade de P no solo, o teor de P nas folhas de algodão variou de 4,49 a 7,35 g kg<sup>-1</sup>, indicando que os teores de P ficaram pouco acima do nível superior considerado ideal para a cultura. O aumento do teor de P nas folhas de algodão com a aplicação do alto nível de adubação fosfatada reflete a maior disponibilidade desse nutriente no solo, confirmando os resultados reportados por Alia e Ahmad (2021). Nessa condição, o teor de P nas folhas foi maior nas cultivares de algodão FM 912 GLTP, FM 944 GL, FM 976 TLP, FM 983 GLT, FM 985 GLTP, TMG 31 B3RF e TMG 91 WS3 (Figura 2).

A eficiência de utilização do P aplicado ao solo variou de 72,4 a 116,4 kg kg<sup>-1</sup> em condições de baixa disponibilidade de P e de 17,2 a 22,0 kg kg<sup>-1</sup> em condições de alta disponibilidade de P (Figura 3). Em condições de baixa disponibilidade de P no solo, a eficiência de utilização de P foi maior nas cultivares de algodão FM 912 GLTP, FM 944 GL, FM 974 GLT, FM 983 GLT, TMG 21 GLTP e TMG 44 B2RF (Figura 3).

**Figura 3** - Efeito do nível de adubação fosfatada na eficiência do uso de P das 22 cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cultivadas em solo tropical do Cerrado



**Cultivar de Algodão**  
Barras seguidas da mesma letra minúscula para o baixo nível de adubação fosfatada (20 mg kg<sup>-1</sup> de P), ou seguida da mesma letra maiúscula o alto nível da adubação fosfatada (200 mg kg<sup>-1</sup> de P) não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade.

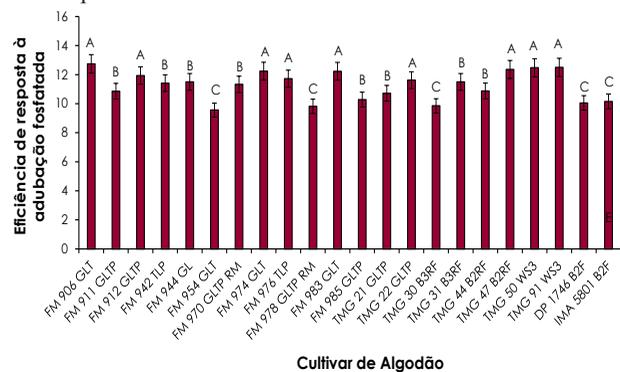
**Fonte:** dados da pesquisa.

A menor eficiência do uso de P com a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado está possivelmente relacionada à alta capacidade de fixação de P pelos (óxi)hidróxidos de Fe e Al presentes nos solos tropicais da região do Cerrado (Sousa; Lobato, 2004). Segundo Novais e Smyth (1999), cerca de 90% do P aplicado ao solo é rapidamente adsorvido por essas argilas.

Além disso, essa menor eficiência do uso de P com a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado está relacionado a Lei dos Incrementos Decrescentes. Essa lei alerta sobre o fato de que se “adicionar doses crescentes de um nutriente, o maior incremento em produção será obtido com a primeira dose, mas com aplicações sucessivas do nutriente os incrementos de produção e a eficiência do uso de nutrientes serão cada vez menores” (Malavolta et al., 1997). Portanto, a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado (200 mg kg<sup>-1</sup> de P, equivalente à 400 kg ha<sup>-1</sup> de P ou 916 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) resultou na menor eficiência de utilização do P quando comparado a menor dose de fertilizante fosfatado (20 mg kg<sup>-1</sup> de P, equivalente à 40 kg ha<sup>-1</sup> de P ou 91,6 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

A eficiência de resposta à adubação fosfatada das cultivares de algodão variou de 9,56 a 12,74 (Figura 4). A maior resposta à adubação fosfatada foi observada para as cultivares FM 906 GLT, FM 912 GLTP, FM 974 GLT, FM 976 TLP, FM 983 GLT, TMG 22 GLTP, TMG 47 B2RF, TMG 50 WS3 e TMG 91 WS3 (Figura 4).

**Figura 4** - Eficiência de resposta à adubação fosfatada das 22 cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cultivadas em solo tropical do Cerrado

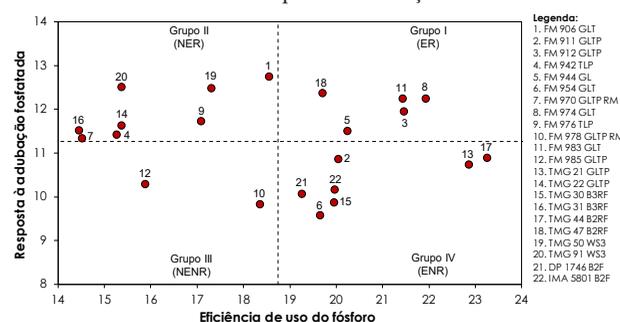


Barras seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa.

Em relação a metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980), 12 cultivares de algodão foram classificadas como eficientes no uso de P, pois possuem valores médios de produção de matéria seca da parte aérea superiores à média de todas as cultivares quando cultivadas em condições de baixa disponibilidade de P no solo, portanto, estão representadas no primeiro e quarto quadrante da Figura 5. O uso de cultivares eficientes na absorção e na utilização de P é importante estratégia para aumentar a eficiência da adubação fosfatada e aumentar o rendimento de fibras de algodão, quando esta cultura é cultivada em solos tropicais de baixa fertilidade natural (Iqbal et al., 2020).

**Figura 5** - Posicionamento para a classificação das 22 cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em quatro categorias quanto à eficiência de uso de P e resposta à adubação fosfatada



**Abreviações:** ER: Eficiente e responsivo; NER: Não-eficiente e responsivo; NENR: Não-eficiente e não-responsivo; ENR: Eficiente e não-responsivo.

Fonte: dados da pesquisa.

Por sua vez, 13 cultivares de algodão foram classificadas como responsivas a adubação fosfatada, pois apresentaram as maiores médias de produção de matéria seca da parte aérea quando cultivadas em condições de alta disponibilidade de P no solo, portanto, estão representadas no primeiro e segundo quadrante da Figura 5. Vários estudos indicam a existência de variabilidade genética entre os genótipos quanto à capacidade de absorção e utilização de nutrientes, inclusive o P (Fageria, et al., 2007; Iqbal et al., 2020; Reis et al., 2005).

Com base na metodologia proposta por Fageria e

Kluthcouski (1980), as cultivares FM 912 GLTP, FM 944 GL, FM 974 GLT, FM 983 GLT, TMG 22 GLTP e TMG 47 B2RF foram classificadas como eficientes quanto ao uso de P e responsivas a adubação fosfatada, pois tiveram produção de matéria seca da parte aérea acima da média de todas as cultivares sob condições de baixa e alta disponibilidade de P no solo (primeiro quadrante da Figura 5). Essas cultivares podem ser recomendadas para o cultivo em solos agrícolas de baixa disponibilidade de P e em áreas agrícolas que serão adubadas com altas doses de fertilizantes fosfatados.

As cultivares FM 906 GLT, FM 942 TLP, FM 970 GLTP RM, FM 976 TLP, TMG 31 B3RF, TMG 50 WS3 e TMG 91 WS3 foram classificadas como não eficientes e responsivas, pois tiveram produção de matéria seca da parte aérea abaixo da média de todas as cultivares sob condições de baixa disponibilidade de P no solo, no entanto, quando foram cultivadas com a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado, teve resposta positiva em produção de matéria seca da parte aérea acima da média das demais cultivares estudadas (segundo quadrante da Figura 5). Essas cultivares são indicadas para serem utilizadas pelos produtores que empregam a utilização de alto nível de adubação fosfatada.

As cultivares FM 978 GLTP RM e FM 985 GLTP foram classificadas como não-eficientes e não-responsivas a aplicação de P, pois tiveram produção de matéria seca da parte aérea abaixo da média de todas as cultivares sob condições de baixa e alta disponibilidade de P do solo (terceiro quadrante da Figura 5). De acordo com a metodologia proposta nesse trabalho, essas cultivares não são adequadas para serem cultivadas em solos tropicais do Cerrado, independentemente da utilização de alta ou baixa dose de fertilizante fosfatado.

No quadrante das cultivares eficientes e não-responsivas estão FM 911 GLTP, FM 954 GLT, TMG 21 GLTP, TMG 30 B3RF, TMG 44 B2RF, DP 1746 B2F e IMA 5801 B2F (Figura 5). Estas cultivares tiveram produção de matéria seca da parte aérea acima da média de todas as cultivares sob condições de baixa disponibilidade de P, no entanto, tiveram índice de resposta a aplicação de P abaixo da média geral de todas as cultivares com a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado. Estes resultados evidenciam a falta de resposta destas cultivares de algodão à melhoria do ambiente de produção com o aumento da disponibilidade de P do solo. Essas cultivares devem ser recomendadas para o cultivo em áreas agrícolas com baixa disponibilidade de P do solo ou, em situações, em que os produtores rurais possuem condições apenas de utilizar baixo nível de investimento com a adubação fosfatada para um determinado ano de cultivo de algodão.

#### 4 Conclusão

A aplicação de alto nível de adubação fosfatada potencializa o crescimento e a absorção de fósforo pela maioria das cultivares de algodão cultivadas em solo tropical do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

As cultivares de algodão FM 912 GLTP, FM 944 GL,

FM 974 GLT, FM 983 GLT, TMG 22 GLTP e TMG 47 B2RF foram classificadas como eficientes e responsivas e devem ser recomendadas para o cultivo em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P e áreas adubadas com altas doses de fertilizantes fosfatados.

As cultivares FM 906 GLT, FM 942 TLP, FM 970 GLTP RM, FM 976 TLP, TMG 31 B3RF, TMG 50 WS3, TMG 91 WS3 foram classificadas como não eficientes e responsivas e são mais indicadas para serem cultivadas em áreas agrícolas que utilizam a aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados.

As cultivares FM 911 GLTP, FM 954 GLT, TMG 21 GLTP, TMG 30 B3RF, TMG 44 B2RF, DP 1746 B2F e IMA 5801 B2F foram classificadas como eficientes e não-responsivas e são mais indicadas para serem cultivadas em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P.

## Referências

- ALIA, H.; AHMADA, M.I. Agronomic efficiency and profitability of cotton on integrated use of phosphorus and plant microbes. *Braz. J. Biol.*, v.81, n.2, p.484-494, 2021. doi: 10.1590/1519-6984.232940
- ARDON, H.J.V. et al. Classificação de genótipos de soja quanto à eficiência e resposta ao uso de fósforo em solo arenoso do Cerrado brasileiro. *Rev. Ciênc. Agrár.*, v.45, n.3, p.94-104, 2022. doi: 10.19084/rca.27469
- BARBOSA, N.C. et al. Distribuição vertical do fósforo no solo e função dos modos de aplicação. *Biosci. J.*, v.31, p.87-95, 2015. doi: 10.14393/BJ-v31n1a2015-18196
- BORÉM, A.; FREIRE, E.C. Algodão: do plantio a colheita. Minas Gerais: UFV, 2014.
- CASSOL, C.J. et al. Natural fertility and intrinsic fragility of soils in the Brazilian Cerrado. *Rev. Agron. Meio Amb.*, v.16, e10087, 2023. doi: 10.17765/2176-9168.2023v16n2e10087
- CHIEN, S. H., MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertilizer Res.*, v.41, p.227-234, 1995. doi: 10.1007/BF00748312
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Grãos e Algodão. Safra 2022/2023. 10º Levantamento. Brasília: Conab, 2023.
- CRASWELL, E.T.; GODWIN, D.C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. In: TINKER, P.B.; LAUCHLI, A. *Advances in plant nutrition*. Praeger Scientific, v.1, p.1-55, 1984.
- DAMACENO, J.B.D. et al. Agronomic efficiency of bone meal under acidification in *Brachiaria ruziziensis* dry matter production in Western Amazon. *J. Exp. Agric. Int.*, v.34, n.4, p.1-7, 2019. doi: 10.9734/jeai/2019/v34i430182
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa, 2009.
- FAGERIA, N.D.; KLUTHCOUSKI, J. Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo. Brasília: Embrapa-CNPAP, 1980.
- FAGERIA, N.K.; NASCENTE, A.S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. *Adv. Agron.*, v.128, p.221-275, 2014. doi: 10.1016/B978-0-12-802139-2.00006-8
- FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; CUTRIM, V.A. Irrigated rice productivity and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.42, n.7, p.1029-1034, 2007.
- FAROOQ, A. et al. Genetic variability in cotton germplasm: predicting the agro physiological markers for high-temperature tolerance. *J. Agric. Sci.*, v.159, n.1-2, p.11-22, 2021. doi:10.1017/S0021859621000368
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. Agrotecnol.*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001
- GOMES, L. et al. Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: Increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity. *Land*, v.8, n.1, e12, 2019. doi: 10.3390/land8010012
- GOULART, A.C.P. Tratamento de sementes do algodoeiro com fungicidas e inseticidas. In: *ALGODÃO: Tecnologia de produção*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. p.140-158.
- HONDA-FILHO, C.P. et al. Genetic diversity and correlation network approach on cotton genotypes in southern of Minas Gerais. *Rev. Ceres*, v.69, n.6, p.703-708, 2022. doi: 10.1590/0034-737X202269060009
- IQBAL, A. et al. Genotypic variation in cotton genotypes for phosphorus-use efficiency. *Agronomy*, v.9, e689, 2019. doi: 10.3390/agronomy9110689
- IQBAL, B. et al. Phosphorus application improves the cotton yield by enhancing reproductive organ biomass and nutrient accumulation in two cotton cultivars with different phosphorus sensitivity. *Agronomy*, v.10, e153, 2020. doi: 10.3390/agronomy10020153
- JOHAN, P.D. et al. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. *Agronomy*, v.11, e2010, 2021. doi: 10.3390/agronomy11102010
- MACEDO, J.R. et al. The management of phosphate fertilization affects soil phosphorus and yield of autumn/winter crops. *Acta Sci. Agron.*, v.45, e57336, 2023. doi: 10.4025/actasciagron. v45i1.57336
- MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997.
- MARCANTE, N.C. et al. Phosphorus uptake and use efficiency of different cotton cultivars in savannah soil (Acrisol). *Acta Sci. Agron.*, v.38, n.2, p.239-247, 2016. doi: 10.4025/actasciagron. v38i2.26551
- MARUR, C.J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. *Rev. Bras. Oleag. Fibr.*, v.5, n.2, p.313-317, 2001.
- MELO, P.T.N.B.; BELLEN, H.M. Institutional dimension for sustainable development: the relationship of organic and conventional cotton farming with government. *Rev. Econ. Soc. Rural*, v.60, n.1, e224662, 2022. doi: 10.1590/1806-9479.2021.224662
- MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of N utilization. *Agron. J.*, v.74, p.562-564, 1982.
- MONTEIRO, J.E.B.A. et al. Estimativa da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. *Bragantia*, v.64, n.1, p.15-24, 2005.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J. et al. *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p. 189-254.

- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999.
- REIS, M.S. et al. Absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. *Rev. Ciênc. Agrotecnol.*, v.29, n.4, p.707-713, 2005.
- RIBEIRO, G.R.S. et al. Eficiência agrônômica de cultivares de soja quanto ao uso de fósforo. *Tecnol. Ciênc. Agropec.*, v.10, n.6, p.15-19, 2016.
- SANTOS, A. et al. Cotton production systems in the Brazilian Cerrado: The impact of soil attributes on field-scale yield. *Euro. J. Agron.*, v.118, e126090, 2020. doi: 10.1016/j.eja.2020.126090
- SANTOS, H.G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 2018, 356p.
- SCHONINGER, E.L.; GATIBONI, L.C.; ERNANI, P.R. Fertilização com fosfato natural e cinética de absorção de fósforo de soja e plantas de cobertura do cerrado. *Semina: Ciênc. Agrár.*, v.34, n.1, p.95-106, 2013.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- VILELA, G.F. et al. Cerrado: agricultural production and areas designated for environmental preservation registered in the Brazilian rural environmental registry (Cadastro Ambiental Rural). *J. Environ. Sci. Eng. B.*, v.9, n.3, p.87-107, 2020. doi: 10.17265/2162-5263/2020.03.001
- WITHERS, P.J.A. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports*, v.8, e2537, 2018. doi: 10.1038/s41598-018-20887-z