



Avaliação do BiomaPhos® na solubilização de fósforo em solo com produção orgânica de algodão no Assentamento Queimadas, Remígio, PB

Magna Maria Macedo Nunes Costa ⁽¹⁾, Manoel Francisco de Sousa ⁽¹⁾ e José Wellington dos Santos⁽¹⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Algodão, Campina Grande, PB.

Resumo — Visando estudar o efeito do inoculante líquido BiomaPhos®, desenvolvido pela Embrapa, sobre a solubilização do fósforo (P) aplicado ao solo, a nutrição fosfatada, o crescimento e a produção em área de produção orgânica do algodoeiro cv. Aroeira, foi conduzida uma pesquisa no Assentamento Queimadas, zona rural do município de Remígio, PB. O experimento foi instalado no dia 10 de junho de 2023 e constou de uma combinação fatorial de quatro doses de P (0, 30, 60 e 90 kg/ha de P_2O_5), na ausência e na presença do BiomaPhos®, totalizando oito tratamentos, os quais foram repetidos quatro vezes em delineamento em blocos ao acaso. Os demais nutrientes essenciais foram fornecidos através do biofertilizante bokashi antes da instalação do experimento. O teor de P na folha, a altura da planta, o número de maçãs por planta, a produtividade e a massa seca remanescente da parte aérea (MSRPA) aumentaram significativamente seus valores na presença do BiomaPhos®. Essas variáveis mais o teor residual de P no solo ao final do experimento aumentaram de forma linear com o incremento do fosfato insolúvel no solo, apresentando altos coeficientes de regressão. Não houve interação dos fatores BiomaPhos® x P_2O_5 .

Termos para indexação: *Gossypium hirsutum*, adubação fosfatada, bactérias solubilizadoras de fósforo.

Evaluation of BiomaPhos® in the solubilization of phosphorus in soil with organic cotton production in the Queimadas Settlement, Remígio, PB

Abstract — Aiming to study the effect of the liquid inoculant BiomaPhos®, developed by Embrapa, on the solubilization of phosphorus (P) applied to the soil, phosphate nutrition, growth and production in an organic production area of cotton cv. Aroeira, a research was conducted in the Queimadas Settlement, rural area of the municipality of Remígio, PB. The experiment was installed on June 10, 2023 and consisted of a factorial combination of four doses of P (0, 30, 60 and 90 kg/ha of P_2O_5), in the absence and presence of BiomaPhos®, totaling eight treatments, which were repeated four times in a randomized block design. The other essential nutrients were supplied through the biofertilizer

Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1.143,
Centenário
58428-095, Campina Grande, PB
www.embrapa.br/algodao
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
Presidente
Daniel da Silva Ferreira
Secretária-executiva
Magna Maria Macedo Nunes Costa
Membros
João Henrique Zonta, Lucia Vieira
Hoffmann, Roseane Cavalcanti
dos Santos e Ziany Neiva Brandão

Edição executiva
Geraldo Fernandes de Sousa Filho
Revisão de texto
Marcela Bravo Esteves
Normalização bibliográfica
Enyomara Lourenço Silva
(CRB-4/1569)
Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio
Diagramação
Geraldo Fernandes de Sousa Filho
Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

bokashi, before the installation of the experiment. P content in the leaf, plant height, number of apples per plant, productivity and remaining dry mass of the aerial part (MSRPA) increased significantly in the presence of BiomaPhos®. These variables, together with the residual P content in the soil at the end of the experiment, increased linearly following the increase in insoluble phosphate in the soil, presenting high regression coefficients. There was no interaction between the BiomaPhos® x P₂O₅ factors.

Index terms: *Gossypium hirsutum*, phosphate fertilizer, phosphorus-solubilizing bacteria.

Introdução

O fósforo (P) é considerado um nutriente pouco disponível às plantas por causa de sua baixa solubilidade no solo. Esse fato ocorre devido ao elemento se adsorver fortemente aos constituintes minerais do solo, formando complexos com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, especialmente em solos tropicais. Além disso, uma baixa taxa de difusão dificulta a sua absorção pelas raízes. Nesse contexto, apenas 20 a 30% do P aplicado ao solo como fertilizante mineral é absorvido pelas plantas (Pereira, 2009), com a maior parte se fixando às argilas e se tornando indisponível.

Outra fonte importante de P no solo é a matéria orgânica (MO) na forma de fosfatos de inositol, fosfolipídeos, ácidos nucleicos e ésteres fosfatados, podendo representar de 20 a 80% do P total, em que a liberação para a solução do solo é controlada pela taxa de mineralização da MO dependente da atividade microbiana do solo (Leite et al., 2016). Microrganismos, especialmente bactérias e fungos, desempenham um papel fundamental na disponibilização do P na solução do solo, solubilizando o P inorgânico e mineralizando o orgânico (Carneiro et al., 2004).

As bactérias solubilizadoras de fosfatos inorgânicos são capazes de solubilizar o P complexado aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al através da liberação, para a solução do solo, de ácidos orgânicos — especialmente os ácidos lático, glicólico, cítrico, málico, oxálico, succínico e tartárico —, tornando o nutriente disponível às raízes das plantas (Manzoor et al., 2017). Já as bactérias mineralizadoras do P presentes na MO do solo liberam o nutriente para a solução por meio da produção e excreção de enzimas fosfatases, que vão atuar nos compostos orgânicos contendo P e liberá-lo para a absorção pelas raízes (Sun et al., 2017).

É grande a importância das bactérias solubilizadoras e mineralizadoras do P presente no solo,

porém indisponível às raízes das plantas por sua forte interação com as frações química e orgânica, uma vez que esse nutriente exerce importantes funções no crescimento e na produtividade das culturas — ele é parte integrante do DNA, do RNA e dos fosfolipídeos das membranas; é transportador de substratos, como na forma de glicose-P e de muitas coenzimas; é transportador e transdutor de energia como na forma de ATP e participa da sinalização celular, como na forma de IP₃ — inositol trifosfato (Schachtman et al., 1998).

Diante da importância das bactérias citadas, é preciso destacar a produção e a comercialização de inoculantes contendo esses microrganismos capazes de aumentar a eficiência no uso de P pelas plantas. Esses inoculantes apresentam baixo custo, não causam danos ao meio ambiente e podem ser usados para suplementar ou substituir o uso de adubos fosfatados. Além de promover a solubilização e mineralização de fosfatos, eles produzem fito-hormônios, enzimas e sideróforos que vão potencializar o crescimento e a produção das plantas, e fornecem bioproteção contra fitopatógenos do solo, o que faz aumentar indiretamente a eficiência de outros nutrientes essenciais (Oliveira et al., 2020).

Diversos estudos têm demonstrado o efeito positivo das bactérias solubilizadoras de P no solo sobre braquiária e guandu (Barroti; Nahas, 2000); plantas da Amazônia brasileira (Barroso; Oliveira, 2001); soja (Fernández et al., 2005); milho (Baldotto et al., 2012); pupunha (Patiño-Torres; Sánchez de Prager, 2012); alface (Sánchez-López et al., 2014); laranja (Yfran-Elvira et al., 2015); café (Cisneros-Rojas et al., 2017); cana-de-açúcar, milho, mamão e *Brachiaria decumbens* (Padron et al., 2018); fisalis (Sánchez-López et al., 2018) e cedro (Ascencio-Lino et al., 2021).

A Embrapa vem pesquisando e selecionando, há duas décadas, bactérias disponibilizadoras de P para as plantas. Resultados desses anos de pesquisa culminaram com o lançamento do produto comercial BiomaPhos®. Segundo Oliveira et al. (2020), o BiomaPhos® é um inoculante líquido, recomendado para o tratamento de sementes ou aplicação via jato dirigido ao sulco de semeadura, associando-se à planta desde o início da formação das raízes. As cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) multiplicam-se e colonizam a rizosfera, produzindo os ácidos orgânicos que vão solubilizar o P que está retido ao ferro e ao alumínio presentes no solo, deixando-o prontamente disponível para a absorção e assimilação pela planta. Além disso, o BiomaPhos® também atua na mineralização do P presente na MO do solo, dando maior aporte desse elemento para o cultivo.

O BiomaPhos® é um produto que contém a tecnologia Embrapa para aumentar a eficiência do uso

de P pelas plantas, o que pode resultar em menores doses de fertilizantes fosfatados e, consequentemente, menos dispêndio de energia na produção. Além disso, ao aumentar a produtividade das culturas, a pressão sobre novas áreas diminui e aumenta a sustentabilidade dos atuais agroecossistemas. Assim, representa uma contribuição para garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, fibras e energia, e implementar práticas agrícolas resilientes que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas e melhorem progressivamente a qualidade do solo (Oliveira et al., 2020).

Diante de toda essa importância do BiomaPhos®, pode-se considerá-lo um bioinsumo de extrema valia para a produção orgânica de commodities no país, como o algodão (*Gossypium hirsutum* L.), uma vez que esse sistema aplica princípios, processos e práticas ecológicas à produção agrícola. Nesse contexto, uma das práticas proibidas na agricultura orgânica é a utilização de adubos químicos de alta solubilidade. Dessa forma, as fontes de P devem ser os fosfatos insolúveis. Como bioinoculantes, os bacilos do BiomaPhos® multiplicam-se no solo e solubilizam o P indisponível, ajudando as raízes das culturas na absorção do P_2O_5 .

A maioria da produção orgânica de algodão no Brasil é realizada por agricultores familiares e concentra-se na região semiárida, nos estados da Paraíba, do Piauí, de Pernambuco, do Rio Grande do Norte, do Ceará e de Minas Gerais. Os estados de Alagoas e Sergipe também estão produzindo, porém, suas áreas encontram-se em processo de transição (Mattos et al., 2020). A produção de algodão orgânico da safra de 2019 no Brasil foi de 30 toneladas, numa área de 620 hectares, com cerca de 600 famílias envolvidas (Embrapa, 2020).

O manejo adequado do P no solo é importante para a produção orgânica de algodão. Esse elemento, quando fornecido ao algodoeiro em quantidades e proporções adequadas, aumenta a produtividade, melhora a qualidade da fibra produzida, diminui os custos de produção, aumenta a renda do cotonicultor e promove a conservação do meio ambiente. Tendo uma baixa eficiência nutricional, com grande parte do P aplicado via adubação, ficando fixado à matriz do solo, o estudo de tecnologias que promovam a recuperação desse fosfato retido torna-se fundamental.

Assim, este trabalho teve como objetivo estudar o efeito do BiomaPhos® sobre a disponibilidade de P no solo, a nutrição fosfatada, o crescimento e a produção orgânica de algodoeiro cv. Aroeira no Assentamento Queimadas, zona rural do município de Remígio, PB. Esta publicação encontra-se alinhada com a agenda 2030 por meio do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável.

Material e método

Em 10 de junho de 2023, foi instalado um experimento no Assentamento Queimadas, zona rural do município de Remígio, PB, com o objetivo de estudar o efeito do inoculante líquido, desenvolvido pela Embrapa, sobre o crescimento e a produção de algodão orgânico cv. Aroeira, bem como a nutrição fosfatada e a disponibilidade de fósforo no solo resultante da solubilização do adubo insolúvel. Antes da instalação, toda a área do experimento foi percorrida em ziguezague, coletando-se amostras simples na profundidade de 0–20 cm. Essas amostras foram misturadas e bem homogeneizadas a fim de obter-se a amostra composta, a qual foi encaminhada ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, para a determinação da fertilidade do solo, cujos resultados constam na Tabela 1.

O experimento constou de uma combinação fatorial de quatro doses de P (0, 30, 60 e 90 kg/ha de P_2O_5), na ausência e na presença do BiomaPhos®, totalizando oito tratamentos, os quais foram repetidos quatro vezes em blocos ao acaso, perfazendo um total de 32 parcelas experimentais. Cada parcela teve uma área de 5 x 4 m, ou seja 20 m². Foram quatro linhas espaçadas entre si por 1,0 m, tendo as linhas da bordadura uma distância de 0,5 m até o limite da parcela. Já dentro das linhas, as plantas ficaram espaçadas entre si por 0,5 m, perfazendo um total de nove plantas por linha, em que aquelas da bordadura tiveram também uma distância de 0,5 m até o limite da parcela. Dessa forma, cada parcela teve 36 plantas e a área útil, 14. Cada bloco teve uma dimensão de 40 m de comprimento por 4 m de largura, ou seja, 160 m² e, a área total, 640 m².

A aplicação dos tratamentos ocorreu por ocasião da instalação do experimento. O BiomaPhos® foi aplicado por meio de pulverizações direcionadas aos sulcos, na concentração de 5 mL do produto para 1 L de água, utilizando-se para isso um pulverizador costal. A aplicação de P se deu através do fosfato natural reativo, que contém 30% de P_2O_5 . O fornecimento dos demais nutrientes essenciais se deu através da aplicação do biofertilizante líquido BioBokashi® em área total, na concentração de 2 L/ha.

A germinação ocorreu entre cinco a seis dias após a instalação do experimento. A necessidade hídrica do algodoeiro foi suprida pelas águas das chuvas. Para o controle das plantas espontâneas, foi feita capina mecânica entre as linhas de plantio e capina manual entre as plantas dentro das linhas. Aos 24 dias após a germinação (DAG), houve uma segunda aplicação do BiomaPhos® nas parcelas que o continham como tratamento.

Tabela 1. Fertilidade do solo, na camada de 0–20 cm de profundidade, no Assentamento Queimadas, município de Remígio, PB.

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	H+Al	T	V	Al ³⁺	P	M.O.
Água (1:2,5)	mmol _c .dm ⁻³							%	(mmol _c /dm ³)	(mg/dm ³)	g/kg
5,7	15,0	10,4	0,1	2,3	27,8	15,7	43,5	63,9	0,0	4,8	11,6

Aos 62 DAG, foram coletadas folhas das plantas da área útil para a determinação do teor de P. As folhas escolhidas foram as primeiras que se apresentavam completamente expandidas a partir do ápice até a base do vegetal. Esse material foi acondicionado em sacos de papel e levados para secar em estufa de circulação de ar a mais ou menos 65 °C por 48 horas, ocasião em que a massa se encontrava constante. Posteriormente, foi moído em moinho do tipo Willey e submetido à digestão sulfúrica para análise dos teores de P por espectrofotometria UV-visível.

Aos 132 DAG, foi medida a variável altura da planta, com a ajuda de uma régua. Essa medição ocorreu do colo até o ápice da planta. Aos 148 DAG, foi medida a variável número de maçãs por planta. A colheita do algodão em caroço ocorreu aos 158 DAG e, aos 169 DAG, foram coletadas plantas inteiras para a obtenção da matéria seca remanescente da parte aérea (MSRPA), depois de acondicioná-las em sacos de papel e levá-las para secar em estufa de circulação de ar a mais ou menos 65 °C por 48 horas, ocasião em que a massa se encontrava constante. Todas essas variáveis foram medidas em seis plantas por parcela.

Aos 186 DAG, foram coletadas cinco amostras simples de solo por área útil da parcela, na camada arável de 0 a 20 cm de profundidade. Essas amostras foram homogeneizadas, formando-se uma única amostra composta por unidade experimental. No laboratório, as amostras compostas sofreram extração, utilizando-se a solução de Mehlich 1 para em seguida o teor de P ser lido por espectrofotometria UV-visível.

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise estatística utilizando-se o software R Core Team R. Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância em relação ao efeito do BiomaPhos®, do P₂O₅ bem como da interação BiomaPhos® x P₂O₅, ao nível de 5% de probabilidade. Posteriormente, o fator P₂O₅ foi submetido à análise de regressão testando-se os modelos lineares, cúbicos e quadráticos, e escolhendo-se, entre os que deram significância ao nível de 5% de probabilidade, o de maior R².

Resultados e discussão

A Tabela 2, a seguir, mostra o resumo da análise de variância (ANOVA) do efeito do BiomaPhos® e de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre o teor de fósforo nas folhas (P-folha), a altura das plantas (Alt), o número de maçãs por planta (Nº maçãs/PI), a produtividade (Prod) e a matéria seca remanescente da parte aérea (MSRPA) de algodoeiro cv. BRS Aroeira cultivado em sistema orgânico, bem como o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento (P-solo).

Conforme constata-se na Tabela 2, houve efeito significativo no fator BiomaPhos® para as variáveis P-Folha, Alt, Nº maçãs/PI, Prod e MSRPA, não havendo para P-Solo. Com relação ao fator doses crescentes de P₂O₅, todas as variáveis apresentaram efeito significativo. Na interação entre BiomaPhos® x P₂O₅, nenhuma variável apresentou significância.

Dessa forma, as variáveis relacionadas ao crescimento, à produção e à nutrição nitrogenada responderam à aplicação do BiomaPhos® em área de produção orgânica durante o ciclo da planta de algodoeiro cv. BRS Aroeira, entretanto o efeito residual da aplicação de fosfato insolúvel ao solo foi indiferente à aplicação das bactérias solubilizadoras de fósforo, provavelmente pela presença de bactérias nativas. Por sua vez, todas as variáveis medidas no decorrer do experimento responderam às doses crescentes de P₂O₅.

A Tabela 3, mostra as médias referentes ao efeito do BiomaPhos® e de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre o teor de fósforo nas folhas (P-folha), a altura das plantas (Alt), o número de maçãs por planta (Nº maçãs/PI), a produtividade (Prod) e a matéria seca remanescente da parte aérea (MSRPA) de algodoeiro cv. BRS Aroeira cultivado em sistema orgânico, bem como o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento (P-solo).

O teor de P na folha, a altura da planta, o número de maçãs por planta, a produtividade e a MSRPA aumentaram significativamente seus valores na presença do BiomaPhos®. O teor de P no solo, ainda que não tenha sido significativo estatisticamente, também teve seus teores aumentados ao final

Tabela 2. Resumo da ANOVA do efeito do BiomaPhos® e de doses crescentes de P_2O_5 na forma de fosfato insolúvel em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

FV	GL	Quadrados médios					
		P-Folha (dag kg ⁻¹)	Altura-PI (cm)	Nº maçãs/PI	Produtiv. (kg ha ⁻¹)	MSRPA (g planta ⁻¹)	P-Solo (mg dm ⁻³)
Bloco	3	0,00042 ^(ns)	15,67 ^(ns)	9,58 ^(ns)	3.584,83 ^(ns)	171,41 ^(ns)	396,14 ^(ns)
BiomaPhos®	1	0,0066 ^(**)	309,44 ^(**)	8,50 ^(*)	6.894,02 ^(*)	732,39 ^(**)	13,00 ^(ns)
P-insolúvel (P_2O_5)	3	0,0029 ^(**)	276,96 ^(**)	7,74 ^(**)	9.725,23 ^(**)	110,64 ^(**)	1182,24 ^(*)
BiomaPhos® x P_2O_5	3	0,00018 ^(ns)	9,63 ^(ns)	2,84 ^(ns)	341,92 ^(ns)	20,17 ^(ns)	36,684 ^(ns)
Erro	21	0,00045	22,03	1,08	1.196,84	13,88	324,46
CV(%)		15,29	14,39	25,20	41,21	26,42	144,09

P-folha: Teor de fósforo nas folhas, Altura-PI: Altura da planta, Nº maçãs/PI: Número de maçãs por planta, Produtiv: Produtividade do algodão com caroço, MSRPA: Matéria seca remanescente da parte aérea, P-Solo: Teor de fósforo no solo.

ns, *, **: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 3. Médias referentes ao efeito do BiomaPhos® e de doses crescentes de P_2O_5 na forma de fosfato insolúvel em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

Fatores	Classe ⁽¹⁾	Variáveis					
		P-Folha (dag kg ⁻¹)	Altura-PI (cm)	Nº maçãs/PI	Produtiv. (kg ha ⁻¹)	MSRPA (g planta ⁻¹)	P-Solo (mg dm ⁻³)
BiomaPhos®	0	0,124b	29,67b	3,61b	69,26b	9,06b	13,14a
	1	0,153a	35,88a	4,64a	98,62a	18,62a	11,86a
P_2O_5	0	0,12	25,83	3,06	50,48	10,50	2,46
	30	0,13	30,91	3,90	69,24	12,03	4,86
	60	0,14	34,58	4,12	84,03	13,78	13,34
	90	0,16	39,77	5,44	132,01	19,04	29,34

P-folha: Teor de fósforo nas folhas, Altura-PI: Altura da planta, Nº maçãs/PI: Número de maçãs por planta, Produtiv: Produtividade do algodão com caroço, MSRPA: Matéria seca remanescente da parte aérea, P-Solo: Teor de fósforo no solo.

⁽¹⁾ 0 e 1: Na ausência e na presença, respectivamente, de BiomaPhos®.

⁽¹⁾ 0, 30, 60, e 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 no solo, na forma de fosfato insolúvel.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

do experimento com a adição do BiomaPhos® ao solo (Tabela 3). Os solos dos sistemas orgânicos de produção são mantidos de forma a proporcionar a multiplicação de microrganismos nativos do solo, os quais solubilizam os nutrientes contidos nas argilas e na MO. A aplicação de um bioinoculante como o BiomaPhos® potencializa essa ação e, juntamente com as bactérias nativas solubilizadoras de fosfato, causa um incremento na liberação do elemento contribuindo para os resultados obtidos no presente experimento.

Fiuza et al. (2022), em experimento em cinco campos cultivados com soja durante duas safras (2019/2020 e 2020/2021) para testar a eficácia do BiomaPhos® inoculado via solos e sementes, através da avaliação do crescimento vegetativo, do estado

nutricional, da produção e do carbono da biomassa microbiana, encontraram respostas positivas. Silva et al. (2023), estudando o desenvolvimento inicial de duas variedades de mamão — Formosa e Papaya — submetidas à aplicação de BiomaPhos® no substrato, concluíram que esse insumo biológico contribui para o incremento das características morfológicas da fruteira.

Brito et al. (2022), em pesquisa na qual observaram o desenvolvimento e a nutrição inicial do milho com inoculação do BiomaPhos® associado a fontes fosfatadas, encontraram efeito das fontes de P com inoculante para as variáveis: diâmetro do colo, massa seca da raiz e da parte aérea, relação parte aérea:raiz, massa seca total, P foliar, absorção de P e pH. Segundo os autores, a associação entre o

inoculante solubilizador de P e fertilizantes fosfatados promoveram crescimento da biomassa radicular e alteraram a disponibilidade e absorção de P durante os 45 DAE da cultura do milho. O BiomaPhos® foi mais eficiente em fonte com baixa solubilidade, e seus efeitos foram nulos ou negativos com fontes de P solúveis, ou seja, os microrganismos modulam o desenvolvimento do milho, o qual teve respostas positivas do acúmulo de biomassa, teor e absorção de P em estágio V6.

A Tabela 4, a seguir, mostra as equações e os coeficientes de regressão do efeito de doses crescentes de P_2O_5 na forma de fosfato insolúvel sobre o teor de fósforo nas folhas (P-folha), a altura das plantas, o número de maçãs por planta, a produtividade, a matéria seca remanescente da parte aérea (MSRPA) e o teor residual de fósforo no solo ao final do experimento (P-solo) com a cultura do algodoeiro cv. BRS Aroeira cultivado em sistema orgânico.

Conforme Tabela 2, houve efeito significativo no fator doses crescentes de P_2O_5 para todas as variáveis medidas, e a Tabela 4 apresenta os modelos matemáticos que explicam o aumento do teor de fósforo nas folhas (P-folha), da altura das plantas, do número de maçãs por planta, da produtividade, da matéria seca remanescente da parte aérea (MSRPA) e do teor residual de fósforo no solo ao final do experimento em área de produção orgânica de algodão. Conforme constata-se (Tabela 4), os modelos que se ajustaram foram do tipo linear com altos coeficientes de regressão (R^2).

As respostas positivas das variáveis supracitadas às doses de P_2O_5 no solo, em sistema de produção orgânica de algodoeiro, ocorrem devido às funções desse macronutriente primário nas plantas:

Tabela 4. Equações do efeito de doses crescentes de P_2O_5 na forma de fosfato insolúvel em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

Variável	Equação	R^2
P-Folha (dag kg ⁻¹)	$y = 0,117 + 0,000483x$	0,97
Altura da planta (cm)	$y = 25,950 + 0,151600x$	0,99
Nº de Maçãs/Planta	$y = 3,027 + 0,002400x$	0,93
Produtividade (kg ha ⁻¹)	$y = 45,030 + 0,865000x$	0,92
MSRPA (g planta ⁻¹)	$y = 9,735 + 0,091000x$	0,90
P-Solo (mg dm ⁻³)	$y = 0,866 + 0,029700x$	0,89

$x = P_2O_5$

P-folha: Teor de fósforo nas folhas, MSRPA: Matéria seca remanescente da parte aérea, P-Solo: Teor de fósforo no solo.

faz parte dos nucleotídeos e das membranas fosfolípicas, é responsável por armazenamento e transferência de energia na forma de ATP e compõe o inositol trifosfato — mensageiro secundário nas células vegetais (Marschner, 2022).

Marcante et al. (2016), verificando a eficiência de absorção e utilização de fósforo por cultivares de algodão em um solo de Cerrado (Latosolo Vermelho Amarelo), encontraram que os tratamentos com P influenciaram significativamente a matéria seca da parte aérea, o acúmulo de P, a atividade específica do ^{32}P , o valor de P-lábil e de P-não lábil menos o proveniente das sementes. Os autores ainda sugerem que se pode selecionar cultivares de algodão mais eficientes em absorver e utilizar P em solos com baixa disponibilidade desse elemento às plantas. Nesse contexto, o duplo uso de cultivares eficientes em P mais aplicação de BiomaPhos® em sistemas orgânicos de produção tem o potencial de melhorar a produtividade de algodão, uma vez que mais P será disponibilizado às raízes pela atividade dos bacilos contidos.

Pereira et al. (2020) observaram as características agrônômicas do algodão submetido a aplicação de fósforo no Cerrado piauiense e constataram que a produção de algodão em caroço foi influenciada pelas doses de P aplicadas na semeadura. A dose de 76,7 kg ha⁻¹ e de 73,25 kg ha⁻¹ de P_2O_5 proporcionam a máxima eficiência técnica (MET) e a máxima eficiência econômica (MEE), respectivamente, na produção de algodão dessa região. A produtividade de pluma de algodão em caroço está correlacionada com o número de capulhos por planta.

Ali e Ahmad (2021), conduzindo ensaios no Paquistão sobre a eficiência e a rentabilidade agrônômica do algodão no uso integrado de fósforo e micróbios vegetais, concluíram que o aumento do fósforo na planta de algodoeiro melhora a produção de fotoassimilados com reflexos diretos no crescimento e na produtividade. Batista et al. (2010), observando o crescimento e a produtividade do algodão em resposta à aplicação de fósforo e métodos de irrigação, perceberam que a aplicação do P aumentou o número de capulhos por planta e a produtividade de algodão em caroço.

As Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6, a seguir, mostram, respectivamente, o efeito do aumento do fosfato insolúvel no solo sobre as variáveis teor de fósforo nas folhas (P-folha), altura das plantas, número de maçãs por planta, produtividade, matéria seca remanescente da parte aérea (MSRPA) e teor residual de fósforo no solo ao final do experimento (P-solo) em área de produção orgânica de algodão com a cv. BRS Aroeira.

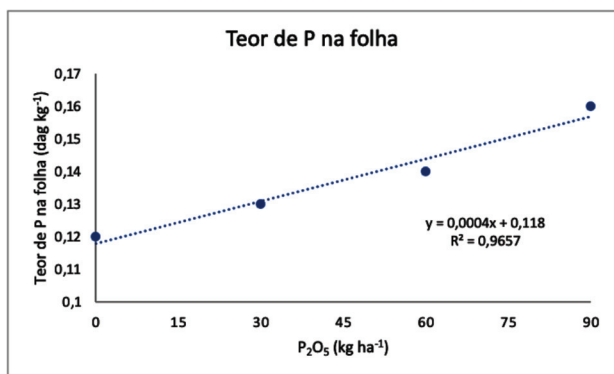


Figura 1. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre o teor de fósforo nas folhas em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

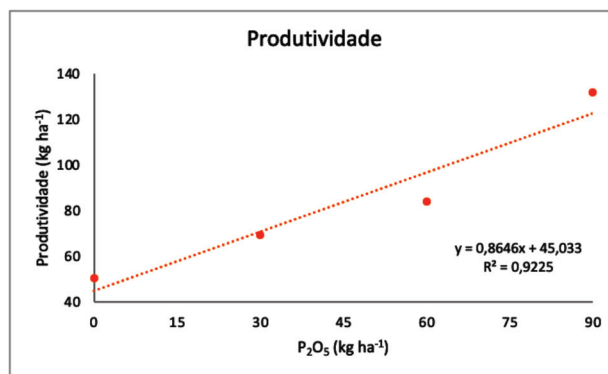


Figura 4. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre a produtividade em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

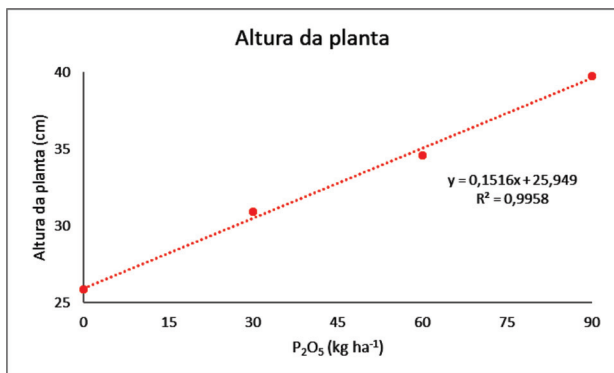


Figura 2. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre a altura das plantas em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

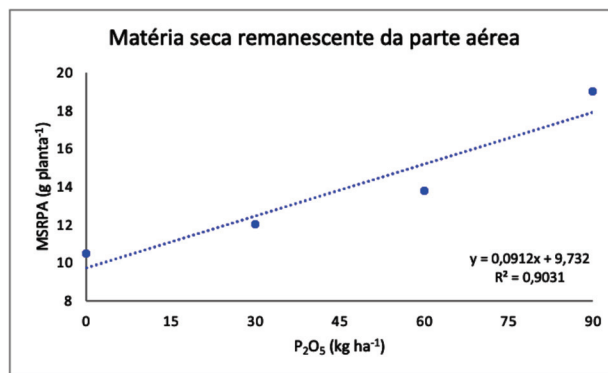


Figura 5. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre a matéria seca remanescente da parte aérea em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

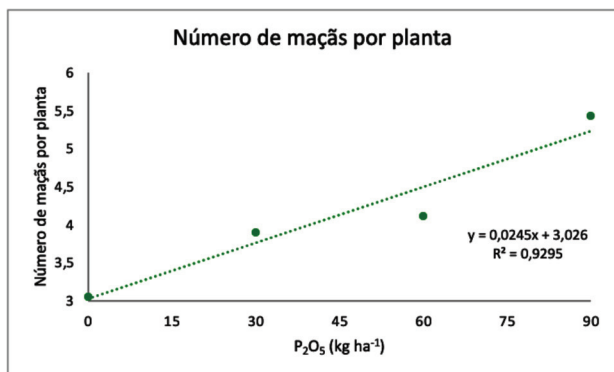


Figura 3. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre o número de maçãs por planta em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

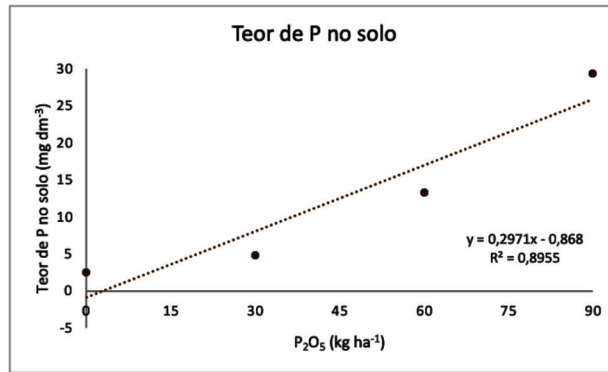


Figura 6. Efeito de doses crescentes de P₂O₅ na forma de fosfato insolúvel sobre o teor residual de fósforo no solo, ao final do experimento, em área de produção orgânica de algodoeiro cv. BRS Aroeira no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, julho a novembro de 2023.

Conforme visto nas Tabelas e nas Figuras, apenas os coeficientes lineares revelaram significância, indicando regressão linear. Esses modelos matemáticos reforçam a relação positiva entre a quantidade de fósforo aplicada e o desempenho das plantas de algodoeiro em sistema orgânico. Entretanto, o espectro de doses de P_2O_5 testadas, 0 a 90 kg ha⁻¹, em intervalos de 30 kg ha⁻¹, não foi suficiente para detectar as doses de máximas eficiências física e econômica. Sugere-se que o experimento seja repetido, estudando-se um espectro maior de doses de P_2O_5 sobre o crescimento, a produção e a nutrição fosfatada do algodoeiro, bem como sobre a fertilidade em P do solo. Também a ausência de significância na interação entre o BiomaPhos® e as doses de P_2O_5 sugere que a eficácia do bioinoculante não é afetada diretamente pela quantidade de fósforo fornecida, o que pode indicar que a aplicação de ambos pode ser otimizada separadamente para alcançar melhores resultados.

Conclusões

- 1) O teor de P na folha, a altura da planta, o número de maçãs por planta, a produtividade e a MSR-PA aumentaram significativamente os seus valores na presença do BiomaPhos®, o que demonstra a importância dessa tecnologia para otimizar a nutrição mineral e a produtividade das culturas.
- 2) Houve efeito significativo no fator doses crescentes de P_2O_5 para todas as variáveis estudadas.
- 3) Apesar de o teor de fósforo no solo não ter apresentado significância estatística, observou-se um aumento ao final do experimento com a adição do BiomaPhos® ao solo, sugerindo uma tendência favorável que pode ser explorada em estudos posteriores. O espectro de doses de P_2O_5 testado, 0 a 90 kg ha⁻¹, em intervalos de 30 kg ha⁻¹, não foi suficiente para demonstrar as respostas da planta de algodoeiro à elevação do nível de fosfato insolúvel no solo. Sugere-se repetir o experimento com um espectro mais amplo de doses para que possa proporcionar uma melhor compreensão da relação entre o fósforo no solo e o crescimento do algodoeiro.

Agradecimentos

• À Rede Borborema de Agroecologia, financiadora do Projeto Sistemas Integrados Orgânicos para Cultivo de Algodão, Sisal, Feijão, Milho e Gergelim nos Territórios da Borborema, Agreste e Curimataú do estado Paraíba.

• À Embrapa Algodão, pelo suporte humano e técnico para a execução do experimento.

• À estudante de agronomia da Universidade Federal da Paraíba e agricultora agroecológica no Assentamento Queimadas, Remígio, PB, Suzana Cordeiro Aguiar, por ceder seu lote para a realização do experimento.

Referências

- ALI, H.; AHMAD, M. I. Agronomic efficiency and profitability of cotton on integrated use of phosphorus and plant microbes. **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 2, p. 484-494, 2021.
- ASCENCIO-LINO, T.; MATAMOROS-ALCÍVAR, E.; SANDOYA-SÁNCHEZ, V.; BARCOS-ARIAS, M.; NARANJO-MORÁN, J. Estudio exploratorio de bacterias solubilizadoras de fósforo en dos hábitats asociados con *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. **Bionatura**, v. 6, n. 1, p. 1575-1578, 2021.
- BALDOTTO, L. E. B.; SILVA, L. G. J. S.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; BALDOTTO, M. A. Initial growth of maize in response to application of rock phosphate, vermicompost and endophytic bacteria. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 262-270, 2012.
- BARROSO, C. B.; OLIVEIRA, L. A. Ocorrências de bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio nas raízes de plantas na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 575-581, 2001.
- BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2043-2050, 2000.
- BATISTA, C. H.; AQUINO, L. A. de; SILVA, T. R.; SILVA, H. R. F. Crescimento e produtividade da cultura do algodoeiro em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 4, p. 197-206, 2010.
- BRITO, L. E. M.; REZENDE, A. L. A. da; SILVA, C. O. C. da; SILVA, H. D. da; SILVA, C. D. R. da; LUZ, J. H. S. da. Desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do BiomaPhos® associado a fontes fosfatadas. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 8, e022010, 2022.
- CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. de C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M. de; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.
- CISNEROS-ROJAS, S. A.; SÁNCHEZ de PRAGER, M.; MENJIVAR-FLORES, J. C. Efecto de bacterias

solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. **Agronomía Mesoamericana**, v. 28, n. 1, p. 149-158, 2017.

EMBRAPA. **Notícias**: Live debate a produção de algodão orgânico em consórcios agroalimentares no Semiárido. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/53570657/live-debate-a-producao-de-algodao-organico-em-consorcios-agroalimentares-no-semiarido>. Acesso em: 30 set. 2021.

FERNÁNDEZ, L. A.; ZALBA, P.; GÓMEZ, M. A.; SAGARDOY, M. A. Bacterias solubilizadoras de fósforo inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. **Ciencia del Suelo**, v. 23, n. 1, p. 31-37, 2005.

FIUZA, D. A. F.; VITORINO, L. C.; SOUCHIE, E. L.; RIBEIRO NETO, M.; BESSA, L. A.; SILVA, C. F. da; TROMBELA, N. T. Effect of rhizobacteria inoculation via soil and seeds on *Glycine max* L. plants grown on soils with different cropping history. **Microorganisms**, v. 10, n. 4, **691**, p. 1-24, 2022.

LEITE, J. N. F.; CRUZ, M. C. P. da; FERREIRA, M. E.; ANDRIOLI, I.; BRAOS, L. B. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 5, n. 11, p. 1880-1889, 2016.

MANZOOR, M.; ABBASI, M. K.; TARIQ, S. Isolation of phosphate solubilizing bacteria from maize rhizosphere and their potential for rock phosphate solubilization–mineralization and plant growth promotion. **Geomicrobiology Journal**, v. 34, n. 1, p. 81-95, 2017.

MARCANTE, N. C.; MUROAKA, T.; BRUNO, I. P.; CAMACHO, M. A. Phosphorus uptake and use efficiency of different cotton cultivars in savannah soil (Acrisol). **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 2, p. 239-247, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of Higher Plants**. 4. ed. New York: Academic Press, 2022. 672 p.

MATTOS, L. C.; MATTOS, J. L. S. de; BLACKBURN, R.; SANTIAGO, F. dos S.; MENEZES NETO, J. B. de. A saga do algodão no semiárido nordestino: histórico, declínio e as perspectivas de base agroecológica. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 556-580, 2020.

OLIVEIRA, C. A. de; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 21 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210).

PADRON, I.; TORRES-RODRIGUEZ, D. G.; CONTRERAS-OLMOS, J.; LOPÉZ, M.; COLMENARES, C. Aislamiento de cepas fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo en un suelo alfisol venezolano. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 3, n. 2, p. 285-297, 2018.

PATÍÑO-TORRES, C.; SÁNCHEZ de PRAGER, M. Aislamiento e identificación de bacterias solubilizadoras de fosfato, habitantes de la rizosfera de chontaduro (*bactris gasipaes* Kunth). **Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 10, n. 2, p. 177-187, 2012.

PEREIRA, F. F.; RATKE, R. F.; ZUFFO, A. M.; SOUSA, W. P. de; ALMEIDA, F. A. de; PETTER, F. A. Características agronômicas do algodão submetido a épocas e doses de aplicação de fósforo no Cerrado Piauiense. **Revista Cultura Agronômica**, v. 29, n. 1, p. 11-21, 2020.

PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Visão Agrícola**, n. 9, 4 p, 2009.

SÁNCHEZ-LÓPEZ, D. B.; GARCÍA-HOYOS, A. M.; ROMERO-PERDOMO, F. A.; BONILLA-BUITRAGO, R. R. Efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal solubilizadoras de fosfato en *Lactuca sativa* cultivar White Boston. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 16, n. 2, p. 122-128, 2014.

SÁNCHEZ-LÓPEZ, D. B.; ROMERO-PERDOMO, F. A.; BONILLA-BUITRAGO, R. R. Respuesta de *Physalis peruviana* L. a la inoculación com bacterias solubilizadoras de fosfato. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 5, n. 5, p. 901-906, 2018.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant Physiology**, v. 116, n. 2, p. 447-453, 1998.

SILVA, F. L. da; MEDEIROS, F. D. E. de; PIOVESAN, J. C. G.; ROSA, M. F.; LEÃO, E. U. Desenvolvimento inicial de variedades de mamão com insumos biológicos. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 9, e023012, 2023.

SUN, W.; QIAN, X.; GU, J.; WANG, X. J.; LI, Y.; DUAN, M. L. Effects of inoculation with organic-phosphorus-mineralizing bacteria on soybean (*Glycine max*) growth and indigenous bacterial community diversity. **Canadian journal of microbiology**, v. 63, n. 5, p. 392-401, 2017.

YFRAN-ELVIRA, M. de las M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, C.; MARTÍNEZ, G. C.; COLLAVINO, M. M. Análisis del efecto de bacterias solubilizadoras nativas sobre la movilización de fósforo en suelos rojos argentinos y su absorción em naranjo. **Ciencia del Suelo**, v. 33, n. 1, p. 45-53, 2015.



Ministério da
Agricultura e Pecuária