



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**FONTES DE FÓSFORO ASSOCIADAS À BACTÉRIAS  
BENÉFICAS SOBRE O CRESCIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO  
FOSFATADA DO MILHO**

**FÁBIO JÚNIOR VIEIRA DA SILVA**

**POMBAL – PB**

**2023**

**FÁBIO JÚNIOR VIEIRA DA SILVA**

**FONTES DE FÓSFORO ASSOCIADAS À BACTÉRIAS  
BENÉFICAS SOBRE O CRESCIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO  
FOSFATADA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

**Orientador:** Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo

**POMBAL – PB**

**2023**

S586f Silva, Fábio Júnior Vieira da.

Fontes de fósforo associadas à bactérias benéficas sobre o crescimento inicial e nutrição fosfatada do milho / Fábio Júnior Vieira da Silva. – Pombal, 2023.

36 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo”.

Referências.

1. Adubação fosfatada. 2. Microrganismos benéficos. 3. *Zea mays*. 4. Solubilizadores de fosfato. I. Araújo, Josinaldo Lopes. II. Título.

CDU 631.8 (043)

**FÁBIO JÚNIOR VIEIRA DA SILVA**

**FONTES DE FÓSFORO ASSOCIADAS À BACTÉRIAS  
BENÉFICAS SOBRE O CRESCIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO  
FOSFATADA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

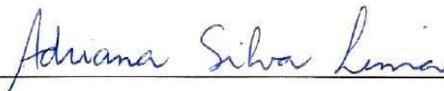
Aprovado em 07/02/2023

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha  
(CCTA/UAGRA/UFCG)  
(Orientador)



---

Prof.ª D.Sc. Adriana Silva Lima  
(CCTA/UAGRA/UFCG)  
(Examinador)



---

Prof. Dr. Ancélio Ricardo de Oliveira Godim  
(CCTA/UAGRA/UFCG)  
(Examinador)

Pombal-PB  
2023

***Aos meus pais Joaquim Canuto (in memoria)  
Francisca Teotônio, e meus irmãos Francisco e Juliana,  
por todo amor e incentivo.  
Dedico.***

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus todo poderoso, por me conceder a vida e está sempre me abençoando.

Aos meus pais, Joaquim Vieira Canuto (*in memoria*) e Francisca Teotônio da Silva Vieira, principalmente a minha mãe, que se mostrou presente em todas as minhas decisões e pode contribuir para essa conquista.

Aos meus irmãos, Francisco Vieira da Silva e Juliana Vieira da Silva Lucena, por todo carinho, incentivo e amor.

A minha madrinha, Maria Marina e toda sua família, pelo acolhimento, pelo amor e hospitalidade durante todo o curso.

Ao meu orientador Josinaldo Lopes Araújo Rocha, por todo comprometimento e disponibilidade, durante o período de orientação.

A todos os professores da graduação, pela extrema contribuição na minha formação.

A Franciezer e Ciro, por todo auxílio e paciência durante os trabalhos efetuados no laboratório.

A todos meus amigos que conquistei ao longo da graduação em especial, Daniela Ísis, João Vitor, Raul Dantas, José Matheus, Larissa Macêdo, Anny Karolynne, Laurenio Ventura, Josefa Juliana, Josefa Larissa, Diandra Perônica, Claudiene Moura, Alena Thamires, Fabricio Vasconcellos, Wesley Bruno e Gilmar Lima. Todos vocês foram de extrema importância, se esqueci o nome de alguém, me perdoe.

Menção honrosa ao meu amigo Juan Matheus, que infelizmente perdeu a vida em um grave acidente de moto. Juan, você jamais será esquecido.

SILVA, F. J. V. da. **Fontes de fósforo associadas a bactérias benéficas sobre o crescimento inicial e nutrição fosfata do milho.** 2023. 36f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2022.

## RESUMO

O uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) associado a aplicação de doses de fósforo, tem proporcionado elevados índices de produção, no Brasil, para a cultura do milho (*Zea Mays*). No entanto para atingir produtividades adequadas, geralmente é necessário conhecer a melhor dose de fósforo, que é um dos fatores que mais contribuem com os custos de produção. No presente trabalho, objetivou-se avaliar a influência de fontes de P associadas ou não a bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) sobre a nutrição no crescimento inicial do milho e produção de fitomassa. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal-PB. Foi utilizado amostra do horizonte B de um Luvissole crômico coletado no município de São Domingos-PB. Foram testados seis tratamentos (T), além do controle (C), constituídos pela combinação de superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FN) e BPCP, assim especificados: T1: controle (sem P), T2: 200 mgdm<sup>-3</sup> P como SFS, T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + BPCP, T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN, T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, e duas plantas por parcela. Como parâmetros para avaliação da eficácia dos tratamentos, aos 45 dias após a emergência, foram avaliados a altura da planta, diâmetro do colmo, massa seca das raízes, caule, folhas e total, bem como os teores de P nestes tecidos, além do fósforo disponível pelo extrator Mehilic-1 e o P-solúvel. Os tratamentos com superfosfato simples (SFS), associados ou não a (BPCP), elevaram os teores de P na massa seca do milho e promoveu aumento na produção de massa seca e acúmulo de P.

**Palavras-chave:** Adubação fosfatada, Microrganismos benéficos, *Zea mays*, Solubilizadores de fosfato.

SILVA, F. J. V. da. **Fontes de fósforo associadas a bactérias benéficas sobre o crescimento inicial do milho**. 2023. 36f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2022.

### ABSTRACT

The use of bacteria growth promoters of plants (BPCP) associated with application of doses of phosphorus, has provided high rates of production, Brazil, for the culture of corn (*Zea Mays*). However for achieve adequate productivity, it is usually necessary know the best dose of phosphorus, which is a of the factors what else contribute with the costs of production. In the present work, the objective was to evaluate the influence of sources of P associated or not to bacteria growth promoters of plants (BPCP) about nutrition in early growth and phytomass production. Work was driven at home vegetation from the Federal University of Campina Grande (UFCG), Campus Pombal-PB. Was used horizon sample B on one chromic luvisol, collected in the municipality São Domingos-PB. Were tested six treatments (T), beyond control (C), constituted by constituted by single superphosphate (SFS), reactive natural phosphate (FN) e BPCP specified like this: T1: control (without P), T2: 200 mgdm<sup>-3</sup> P as SFS, T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P as SFS + BPCP, T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN, T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup>P as SFS it is T7: 100 mg dm<sup>-3</sup>P as SFS+BPCP. Was used the delineation entirely randomized with four repetitions, and two plants per plot. As parameters for evaluation the effectiveness of treatments at 45 days after emergence, were evaluated to plant height, stem diameter, dry mass of roots, stems, leaves and total, as well as the levels of P in these tissues, in addition to the phosphorus available from the extractor Mehilic-1 and P-soluble. The treatments with simple superphosphate (SFS), associated or not with (BPCP), raised the levels of P in the dry mass of corn and promoted an increase increase in production of dry mass and accumulation of P.

**Words-key:** Fertilizing phosphate, Microorganisms beneficial, *Zea mays*, Solubilizers of phosphate.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Realização da leitura do teor de fósforo no tecido vegetal no espectrofotômetro ..... 23
- Figura 2.** Teores de fósforo disponível, obtidos com o extrator Mehlic-1 (A) e solúvel em solução  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> (B). T1: controle (sem P), T2: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como superfosfato simples (SFS), T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como fosfato reativo natural (FN), T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> de P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Médias seguidas por letra iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).....25
- Figura 3.** Teores de fósforo na massa seca de raízes (A), caule (B) e folhas (C) de plantas jovens de milho híbrido K9555VIP3, cultivadas sob diferentes tratamentos com fontes e doses de fósforo. T1: controle (sem P), T2: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como superfosfato simples (SFS), T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como fosfato reativo natural (FN), T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> de P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Médias seguidas por letra iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).....26
- Figura 4.** Relação entre os teores foliares de P e os teores de P obtidos com o extrator Mehlic-1 (A) e P solúvel (B)..... 27
- Figura 5.** Produção de massa seca de raízes (A), caule (B), folha (C) e total (D) de plantas jovens de milho híbrido K9555VIP3, cultivadas sob diferentes tratamentos com fontes e doses de fósforo. T1: controle (sem P), T2: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como superfosfato simples (SFS), T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> mg dm<sup>-3</sup> P como fosfato reativo natural (FN), T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> de P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Médias seguidas por letra iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).....28
- Figura 6.** Acúmulo de fósforo (A), índice de translocação de P (ITP) e eficiência de utilização de P (EUP) de plantas jovens de milho híbrido K9555VIP3, cultivadas sob diferentes tratamentos com fontes e doses de fósforo. T1: controle (sem P), T2: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como superfosfato simples (SFS), T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como fosfato reativo natural (FN), T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> de P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Médias seguidas por letra iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%) ..... 29

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento.... 19
- Tabela 2.** Quadrados médios para as variáveis teores de fósforo (P) no solo, teores de P na massa seca de raízes, caule e folhas, massa seca de raízes (MSR), massa seca de caule (MSC), massa seca de folhas (MSF), massa seca total (MST), acúmulo de P na planta (P-acum), índice de translocação de P (ITP) e eficiência de utilização de P (EUP) ..... 24

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
2.1 A Cultura do Milho .....	11
2.2 Fósforo no solo .....	12
2.3 Fósforo na cultura do milho .....	14
2.4 Adubação fosfatada .....	15
2.5 Uso de microrganismos benéficos para aumentar a disponibilidade de P .....	16
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
3.1 Localização do estudo e caracterização do solo .....	18
3.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	19
3.3 Instalação do experimento e aplicação dos tratamentos .....	19
3.4 Variáveis Avaliadas .....	20
3.5 Análise Estatística .....	22
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>22</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>30</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O milho possui grande destaque na agricultura brasileira pela sua elevada produtividade e versatilidade de usos, o rendimento médio do milho por hectare é de 5.565 kg, valor esse bem abaixo do que a cultura pode alcançar IBGE (2020).

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), fez ótimas projeções para a Safra 2022/23, sendo esperada uma produção total de 125,5 milhões de toneladas. Os dados da (CONAB) informam que na primeira safra do milho, há projeção de uma leve queda de área, com variação negativa de 0,6%, uma vez que o cereal concorre com a soja. Porém, com uma possível recuperação na produtividade, após a escassez hídrica em importantes regiões produtoras na temporada 2021/22, a produção pode chegar a 28,98 milhões de toneladas. Já na segunda safra do grão, é projetado um aumento tanto da área como da produtividade, o que pode resultar em uma colheita de 94,53 milhões de toneladas, aumento de 8,2% em relação à safra 2021/22.

Associado a produtividade está a exigência nutricional da cultura, que se for obedecida de forma correta sem sombra de dúvidas trará bons resultados ao fim da colheita.

No Estado da Paraíba, os Luvisolos crômicos é a classe de solo maior expressividade em termos de área, embora não esteja entre os mais cultivados. Esses solos apresentam elevada concentração de bases trocáveis (Ca, Mg e K), mas possuem baixos teores de P disponível OLIVEIRA (2009).

Dentre as estratégias propostas para aumentar a eficiência da adubação fosfatada, tem sido o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), principalmente aquelas com capacidade para solubilização de fosfatos (MAZZUCHELLI et al., 2014; YADAV et al., 2020). Dentre os grupos de microrganismos identificados e isolados, tem se destacado o *Bacillus subtilis* e o *Bacillus amyloliquefaciens* os quais podem atuar na solubilização de fosfatos e de minerais silicatados (SONG et al., 2007; HOPF et al., 2009; ETESAMI et al., 2017; ROSA et al., 2020).

Considerando que a aplicação no solo de produtos contendo BPCP é um custo adicional no processo de produção, faz-se necessário a ampliação de

pesquisas relacionadas com esta temática, de modo a darem maior suporte na tomada de decisão por parte do produtor.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar a influência de fontes de P associadas ou não a bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) sobre a nutrição fosfatada e produção de fitomassa do milho.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A Cultura do Milho**

O milho é uma planta monoica e apresenta flores femininas e masculinas distintas, as flores masculinas estão localizadas no ápice da planta na região conhecida como pendão e as femininas nas espigas. O grão que é o produto a ser comercializado trata-se do fruto monospermico, classificada como cariopse, em que a semente é soldada ao pericarpo, e é dividido em pericarpo, endosperma e embrião (BARROS & CALADO, 2014).

A planta possui raízes fasciculadas e adventícias, que tem como função sustentação e absorção de nutrientes. O caule pode chegar até uma altura de 2 metros, no entanto vai depender da região onde foi cultivado e da cultivar escolhida. As folhas apresentam cores verdes claras, compridas, de forma lanceoladas, com nervuras centrais bem definidas (BARROS & CALADO, 2014).

Sendo consumido tanto pelos humanos e principalmente pelos animais, o milho é sem dúvidas uma das mais importantes, conhecidas, antigas culturas tendo impacto direto na economia. Conforme dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produção mundial de milho deve aumentar 7,2% em relação à safra anterior e alcançar 1.197,77 milhões de toneladas. O Brasil deve produzir aproximadamente 127 milhões de toneladas de milho na safra 2022/23 CONAB (2022).

No cenário nacional o estado do Mato Grosso é o que mais produz milho em grãos IBGE (2020), já a produção em espiga tem como protagonista o Goiás IBGE (2017). No ano de 2020 foram colhidas 48.172 toneladas de milho em grão no estado da Paraíba, com um rendimento de 6.327 kg por ha conforme dados do (IBGE, 2020).

No Brasil o cultivo da segunda safrinha do milho vem ganhando números superiores se forem comparados com a da primeira safra, assim mostra dados da CONAB (2016). Aproximadamente 75 % do grão produzido no país é obtido do cultivo do milho é fornecido em segunda safra, que também recebe o nome de safrinha.

O milho tem grande importância na economia devido ao seu consumo tanto humano como animal, principalmente por ter seu derivado, no caso o cuscuz, como sendo a base da alimentação de muitas famílias carentes, dando ênfase aos nordestinos que fazem o uso do alimento como tradição que vem passando de gerações.

## **2.2 Fósforo no solo**

Nos sistemas naturais as fontes de fósforo são os minerais fosfatados primários, já que é seu constituinte estrutural, para ser utilizado pelos organismos vivos, deve haver rompimento da estrutura cristalina para ser liberado. O rompimento desses minerais primários ocorre mediante ao processo de intemperização, que depende dos fatores e processos de formação do solo durante a pedogênese (GATIBONI, 2003).

No solo o fósforo está compartimentalizado em dois grandes grupos: o fósforo inorgânico e o fósforo orgânico, dependendo da natureza do composto a que está ligado. Dentro destes dois grupos, as formas de fósforo são de difícil identificação devido à infinidade de reações que o elemento pode sofrer e seus compostos resultantes (GATIBONI, 2003).

O pH aumenta a solubilidade de fosfatos de ferro e de alumínio, em contrapartida o inverso ocorre com fosfatos de cálcio. Dessa forma a maior solubilidade/disponibilidade ocorre em torno de pH 6,0, no caso da existência simultânea de vários compostos de fósforo (NOVAIS, 2007)

O P-lábil é retratado pelas formas de compostos fosfatados adsorvido aos coloides com ligações de fraca energia, e, conseqüentemente, de fácil dessorção, como as monodentadas. O P não lábil corresponde aos fosfatos adsorvidos aos coloides com ligações de alta energia e de difícil dessorção, como as bidentadas e binucleadas (PEREIRA, 2021).

Com o passar do tempo o fósforo removido da solução por precipitação ou adsorção, tende a formar ligações mais estáveis com Al, Fe ou Ca, resultando na formação de compostos mineralogicamente estáveis (NOVAIS et al. 2007). Conforme PONNAMPERUMA et al (1972) sob anaerobiose, o fósforo não lábil ligado a ferro pode ser liberado para a solução devido a redução do Fe+3 para Fe+2.

Uma forma alternativa de extração do fósforo que parece extrair apenas as formas de P-lábil, sejam elas P-Ca, P-Fe ou P-Al, e, de certa forma, que parece também imitar mais o processo natural de liberação e transporte do fósforo para absorção, diz respeito ao uso de resina trocadora de ânions (RAIJ, 1991).

O fósforo (P) é o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa em solos tropicais (NOVAIS & SMYTH, 1999). Os solos brasileiros são carentes de P, em consequência do material de origem e da forte interação do P com o solo (RAIJ, 1991), em que menos de 0,1% encontra-se em solução (FARDEAU, 1996).

O fósforo possui uma particularidade, na dinâmica dos nutrientes no solo, no sentido de que é o único nutriente que "envelhece" no solo. Esse envelhecimento faz com que o P passe da forma lábil para não lábil, implicando na diminuição da disponibilidade do fósforo aplicado ao solo em adubações, com o passar do tempo (NOVAIS, 2007).

O fósforo natural possui uma baixa solubilidade comparado a fonte de fósforo comercial, seja o super fosfato simples (SFS), ou, super fosfato triplo (SFT), isso se dá ao fato de ele ser obtido pelo processo de moagem da rocha apatítica, enquanto o SFS é obtido após tratamento químico da rocha com ácido fosfórico para torná-lo solúvel (et al, 1991; KAMINSKI & PERUZZO, 1997; KORNDÖRFER, 1999).

Segundo Turner et al. (2018) o intemperismo das rochas altera os minerais primários e substâncias mais estáveis às condições ambientais são formadas.

Nas regiões de clima temperado, onde há presença de solos pouco intemperizados, boa parte do fósforo ainda está contido em minerais primários, como fluorapatita, hidroxiapatita e clorapatita, ou adsorvidos aos carbonatos. Já nas regiões que possuem grau moderado de intemperismo, possuem apenas

resquícios de minerais apatíticos e grande parte do P é armazenado em compostos orgânicos (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Contudo em solos altamente intemperizados, que predominam em regiões tropicais, o fosfato adsorvido com alto grau de energia – baixa dessortividade – é predominante (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Assim como a maioria dos solos brasileiros o Luvissole crômico apresenta uma deficiência em fósforo (P), fazendo o uso da adubação fosfatada uma grande ferramenta para o produtor. No entanto a adubação concentrada de P é inviável para a região semiárida, havendo necessidade de práticas de manejo que otimizem o uso do P nativo do solo (ARAUJO, 2004).

O processo de retorno do P não lábio para a solução é considerado lento, por depender de alterações químicas no solo, tais como de acidez ou de potencial de oxirredução. A acidificação do solo implica, por exemplo, numa maior solubilização da hidroxiapatita, ou seja, na passagem de parte do P não lábil para a solução do solo (NOVAIS, 2007).

### **2.3 Fósforo na cultura do milho**

O fósforo é um nutriente bastante exigido pelo milho, podendo ter noção de sua disponibilidade através de uma análise de solo, que deve preceder antes do plantio (VASCONCELLOS et al., 2001). O fósforo possui pouca mobilidade no solo, porém é bastante móvel na planta, sendo prontamente redistribuído ao sair de um órgão mais velho para um órgão mais novo, em crescimento e com deficiência (VASCONCELLOS et al., 2001).

A planta de milho, como a maioria dos seres vivos, requer pouco nutriente no início do seu desenvolvimento (da germinação até os 35-40 dias), passando, posteriormente, por período de extrema exigência até o florescimento, completando sua exigência máxima quando os grãos começam a encher (VASCONCELLOS et al., 2015).

Os efeitos do fósforo na planta do milho consistem em estimular o desenvolvimento radicular, fortalecer a resistência mecânica dos caules (compensa os excessos de azoto), influenciar positivamente a floração,

fecundação, formação e maturação do grão (cerca de 77 a 86 % do fósforo é translocado para o grão) e melhorar a digestibilidade do milho forragem (BARROS & CALADO, 2014).

## 2.4 Adubação fosfatada

Segundo Araújo (2011), o fósforo constitui o nutriente mais limitante para as culturas agrícolas, especialmente em solos tropicais, que apresentam, em geral, baixo teor de P disponível e predominância de acidez. A adubação fosfatada é uma alternativa viável quando se possui baixa disponibilidade do nutriente e assim irá fornecer a quantidade ideal exigida pela cultura.

Com o intuito de aumentar a eficiência da adubação fosfatada uma das alternativas para alcançar esse objetivo é o seu parcelamento. Outro mecanismo seria a utilização de fontes de fertilizantes de liberação mais gradual ou controlada dos nutrientes. Esses fertilizantes são denominados de fertilizantes de liberação lenta (*slow release*) como os fertilizantes polimerizados (MACHADO & SOUSA, 1980).

Vale acrescentar que o fósforo é um nutriente pouco solúvel, desta forma pode ser retido facilmente no solo ficando indisponível para as plantas. Os íons fósforo mais facilmente absorvidos pelas plantas são o ortofosfato primário ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), seguido pelo ortofosfato secundário ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (BARROS & CALADO, 2014).

O íon fosfato tende-se a se ligar ao ferro e ao alumínio desta forma fica indisponível para ser absorvido pelas plantas, isto acontece quando o Ph do solo está ácido. Já quando está alcalino o íon fósforo liga-se ao cálcio, formando fosfatos bicálcicos e tricálcicos (retrogradação do fósforo) que são pouco solúveis e por isso, dificilmente absorvidos pelas plantas (BARROS & CALADO, 2014).

Desta forma se torna imprescindível a adubação fosfatada, após a análise de solo é possível verificar se o teor de P exposto é, ou, não suficiente para a necessidade da planta. O fósforo interage com outros nutrientes, a exemplo do zinco, essa interação é um fenômeno bastante estudado, no entanto, pouco entendido. A adubação fosfatada aumenta significativamente a produção de

grãos e os teores de P no solo e nas folhas, e não altera significativamente as concentrações de Zn nas folhas (SOUZA, 1998).

## **2.5 Uso de microrganismos benéficos para aumentar a disponibilidade de P**

Cerca de 60 % a 80 % da fração viva e mais ativa da matéria orgânica é representada por microrganismo, estes que desempenham importante papel na fertilidade. Os microrganismos atuam em processos que vão desde a origem do solo (intemperização das rochas), formação e manutenção da sua estrutura, até a decomposição de resíduos orgânicos, formação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, biorremediação de poluentes e metais pesados (MENDES et al., 2003).

Bactérias, fungos e actinomicetos estão envolvidos nos processos de solubilização e mineralização de P no solo, desempenhando papel fundamental no ciclo biogeoquímico desse elemento (PAUL & CLARK, 1997; RICHARDSON, 2001).

Os microrganismos afetam diretamente a habilidade das plantas em adquirirem P do solo por meio de vários mecanismos. Esses mecanismos incluem: incremento da área superficial das raízes pela extensão do sistema radicular (associações micorrízicas) ou pela promoção do crescimento de raízes laterais e pelos radiculares (promoção de crescimento por meio de fitohormônios); deslocamento do equilíbrio de adsorção, o que resulta numa transferência de íons fosfato para a solução do solo ou incrementa a mobilidade de formas orgânicas de P; e, estímulos de processos metabólicos que são efetivos na solubilização e mineralização do P a partir de formas pouco disponíveis de fósforo inorgânico e orgânico (MENDES et al., 2003).

Além dos microrganismos responsáveis pela solubilização do  $P_i$  e mineralização do  $P_o$ , os fungos micorrízicos arbusculares (MA) também desempenham papel importantíssimo nos processos de suprimento de P para as plantas. Esses fungos atuam como extensões do sistema radicular (aumentando a área de absorção das raízes e a velocidade de absorção do P) e

também possuem a capacidade de absorver P de fontes não disponíveis para as plantas (BOLAN et al., 1991).

A inoculação de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas é tratada como uma abordagem inovadora na melhoria do rendimento e da qualidade das culturas (MARIMUTHU et al., 2002)

Muitos gêneros de bactérias são classificados como RPCPs, dentre estas se destacam as bactérias diazotróficas dos gêneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, (BALDANI & BALDANI, 2005)

Conforme GAIND & GAUR (1991) a inoculação com diversas estirpes de bactérias solubilizadoras de fosfato, com destaque para *Bacillus subtilis*, aumentou a disponibilidade de fósforo no solo. A bactéria *Bacillus subtilis* é responsável pela produção de antibióticos, enzimas e fitohormônios, sendo conhecida também como promotora de crescimento nas plantas. (KLOEPPER et al., 1999).

O uso de microrganismos benéficos do solo, a exemplo das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs), produzem grandes quantidades de substâncias que promovem o desenvolvimento das plantas Camele et al., (2019).

O gênero *Bacillus* vem sendo estudado há vários anos, devido a sua capacidade de em solubilizar fosfato, produzir ácidos orgânicos e proteger as plantas contra patógenos (GOMES et al., 2014).

Ao utilizar cepas de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, Oliveira et al. (2020), relataram que quando aplicado em áreas que no passado havia sido trabalhado a cultura do milho com aplicações de fósforo em quantidades apropriadas à necessidade da cultura e à disponibilidade no solo, houve um incremento de produtividade de até 8,9 %, além de aumento de 19 % na exportação de P para os grãos (OLIVEIRA et al., 2020).

A associação de fontes naturais com BPCP pode favorecer o crescimento e a produção da planta, já que a inoculação de bactérias com ação solubilizadora de fosfato é capaz de potencializar os efeitos da fertilização fosfatada.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização do estudo e caracterização do solo

O trabalho foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal-PB. Foi utilizada amostra do horizonte B de um Luvissole crômico, localizado às margens da PB 338, no município de São Domingos-PB, no período de 22 de fevereiro de 2022 a 06 de abril de 2022.

Após secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2,0 mm, as amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Nutrição Mineral do CCTA/UFCG onde foi realizada a caracterização química e física conforme procedimentos descritos em Embrapa (2011). Foi determinado o pH em  $\text{CaCl}_2$  a  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , os teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{H} + \text{Al}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  trocáveis, P disponível e matéria orgânica (Tabela 1). A caracterização física constou da determinação dos teores de areia, silte e argila, densidade do solo (densidade global), densidade de partículas.

**Tabela 1.** Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento.

pH $\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{H}+\text{Al}^{3+}$	$\text{Al}^{3+}$	t	CTC	SB	P
..... $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .....										$\text{mg dm}^{-3}$
5,30	3,86	3,66	0,6	0,27	2,53	0,46	8,86	10,94	8,40	5,0
Fe	Cu	Mn	Zn	M.O	m	PST	V	Areia	Silte	Argila
..... $\text{mg dm}^{-3}$ .....					.....%					
21,9	0,24	0,54	0,46	3,45	5,31	5,50	76,90	43,0	39,5	17,5

P, K, Na, Fe, Mn, Cu e Zn: Extrator Mehlich I; CTC (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; Ca, Mg e Al – Extrator: KCl – 1 mol/L; H+Al- extrator acetato de cálcio 0,5 mol/L; V = Índice de Saturação de Bases PST = porcentagem de sódio trocável ( $100 \times \text{Na}/\text{CTC}$ ), Mat. Org. (MO) – Oxidação:  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ; SB = Soma de Bases Trocáveis m = índice de saturação por alumínio.

### 3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foram testados seis tratamentos (T), além do controle (C), constituídos pela combinação de superfosfato simples (SFS), fosfato natural reativo (FN) e BPCP, assim especificados: T1: controle (sem P), T2: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS (16% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água), T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + BPCP, T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN (15% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e 4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água), T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Cada repetição foi constituída por um vaso com a capacidade de 5 dm<sup>3</sup> de solo e duas planta por vaso.

### 3.3 Instalação do experimento e aplicação dos tratamentos

Como fonte de microrganismos foi empregado o produto comercial Biobaci® (*Bacillus subtilis* BV-09, 1,0 x 10<sup>8</sup> UFC/mL). Antes da aplicação, estes produtos passaram por uma diluição na proporção de 1mL/100 mL (100 vezes) de água destilada esterilizada, seguindo recomendação do fabricante. A adição do produto biológico, aconteceu no momento da aplicação dos tratamentos nos vasos, na dose 10 mL por vaso.

Em todos os tratamentos, o solo recebeu uma adubação básica com macro (exceto P) e micronutrientes baseado em Sousa et al. (2012), com as seguintes doses em mg dm<sup>3</sup>: N = 250; K = 300; Ca = 200; Mg = 50; S = 50; B = 0,5; Cu = 1,5; Fe = 5; Mn = 4; Mo = 0,15 e Zn = 5,0. As fontes de macronutrientes utilizadas são: ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), cloreto de potássio (KCl). Para micronutrientes as seguintes utilizadas são: sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O), cloreto de manganês (MnCl<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O), cloreto de zinco (ZnCl<sub>2</sub> 7H<sub>2</sub>O), ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) e molibdato de amônio [(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4 H<sub>2</sub>O].

Foi utilizada a cultivar de milho híbrido K9555VIP3, por ser de rápido crescimento e possuir grande capacidade de produção de fitomassa.

Os tratamentos contendo a adubação fosfatada, foram aplicados antes da semeadura. Depois desta etapa adicionou-se a dosagem do produto biológico de acordo com os tratamentos.

A irrigação aconteceu uma vez ao dia, no momento em que a temperatura estava baixa, ou no início da manhã ou no final da tarde. No início, cada vaso recebeu a mesma quantidade de água.

A semeadura ocorreu de forma manual, sendo depositadas cinco sementes por vaso. Após a germinação foi feito o raleamento, sendo retiradas as plantas de menor vigor, com isso ficaram duas plantas por vaso, cultivadas por um período de 45 dias.

### **3.4 Variáveis Avaliadas**

Utilizando-se uma fita-métrica foi medido a altura de cada planta do vaso, posteriormente foi feita a média entre as duas plantas e o valor foi registrado em m. O diâmetro do caule foi avaliado a cinco cm do colo da planta, utilizando-se um paquímetro, da mesma forma que ocorreu com a altura, foi medido de cada planta e posteriormente feito a média, sendo informado o valor em mm, por vaso.

Passados os 45 dias foi feito o corte das plantas, com o auxílio de uma tesoura de poda, sendo separado as folhas do caule e colocadas em sacos de papel devidamente identificados. Para a coleta das raízes foi feita uma lavagem, com o intuito de retirar a maior quantidade possível do sistema radicular da planta, além de evitar que partículas do solo ficassem presas as raízes e posteriormente interferissem nos resultados.

Todo material vegetativo foi levado para a estufa de circulação forçada de ar entre 60°C a 65°C para a obtenção da massa seca de folhas, do caule e de raízes. A massa seca foi pesada em uma balança analítica, no Laboratório de Solos.

As raízes, folhas e caule após serem pesados, passaram por uma trituração, ficando assim disponível para a preparação da amostra, onde foi feita a leitura de P no tecido vegetal.

Para as análises de P no do caule e raiz, foi utilizado o método Tedesco, TEDESCO et al., (1995), que se procedeu da seguinte forma: pesou-se 0,2 g do material e colocou-se nos tubos digestores, com sua respectiva identificação, em seguida foi adicionado com o auxílio de uma pipeta 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (água oxigenada), posteriormente foi acrescentou-se 2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico).

Após esse procedimento as amostras foram digeridas em bloco digestor, onde foi colocado em uma temperatura de 180° C por aproximadamente 20 minutos, em seguida aumentou-se a temperatura para 250° C e depois 350° C, com um intervalo de 20 minutos em cada temperatura acima citada. Quando a amostra começou a clarear passou mais uma hora no bloco digestor, deixou esfriar e completou a amostra com água destilada, até chegar a um volume de 50 mL. Após esse procedimento a amostra foi armazenada em um recipiente de plástico, com tampa rosqueada e guardado no laboratório.

Para as análises de P nas folhas, foi realizada a metodologia segundo Malavolta et al. (1997), em que foram pesadas 0,5 g do material vegetal e posteriormente inseridos nos tubos digestores.

Em seguida foram adicionados 10 mL de HNO<sub>3</sub> (ácido nítrico) concentrado, foi misturado bem o ácido na amostra e depois deixado em repouso por uma noite.

As amostras foram colocadas no bloco digestor e iniciou-se a digestão a 140 ° C. Após o ácido nítrico evaporar e a solução apresentar uma coloração clara, foram acrescentados 1 mL de HClO<sub>4</sub> (ácido perclórico).

Desta feita o próximo procedimento foi recolocar os tubos no bloco digestor e aumentar a temperatura para 200° C, até o aparecimento da fumaça branca de HClO<sub>4</sub> e o extrato apresenta-se incolor.

Feito isso, os tubos digestores foram retirados do bloco digestor e deixado em temperatura ambiente até esfriarem. Após esfriarem foram adicionados 10 mL de água destilada, os tubos foram agitados bem para que possa ser tirado todo o material, em seguida o material foi armazenado em recipientes plásticos. As leituras de P foram realizadas em espectrofotômetro UV/VIS (FEMTO), em comprimento de onda de 660 nm, utilizando-se o método do azul de molibdênio (EMBRAPA, 2012).

Para a extração de P solúvel utilizando a solução de cloreto de cálcio, 0,01 mol dm<sup>3</sup> utilizou 8 gramas de solo, foram agitados com 80 cm<sup>3</sup> da solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol por dm<sup>3</sup>, por uma hora. Segundo (ASLYING et.al. 1954).

O P do solo foi extraído pela solução de Mehlich-1 (M1) (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>); pH 1,2) na relação solo:solução de 1:10, com

agitação por 5 min em agitador horizontal a 120 oscilações por minuto e decantação por 16 h, conforme método descrito EMBRAPA (2011).



**Figura 1.** Realização da leitura do teor de fósforo no tecido vegetal no espectrofotômetro.

### 3.5 Análise Estatística

A análise estatística constou da análise de variância e teste de médias de Tukey ao nível de 5% de significância utilizando-se o *software* Sisvar® v.5.3

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

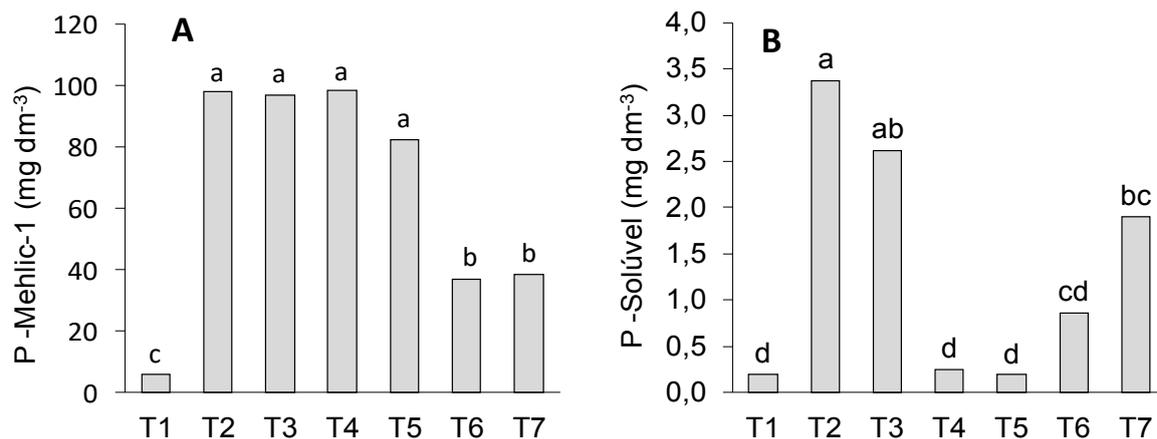
Conforme a análise de variância, todas as variáveis avaliadas foram significativamente afetadas pelos tratamentos testados (Tabela 2). Os teores de P disponível pelo extrator Mehlich-1 foram superiores nos tratamentos T2, T3, T4 e T5 (Figura 2A). Os tratamentos T1, T6 e T6 proporcionaram os menores valores desta variável. Como observado, a aplicação e P associado a BPCP não interferiu na disponibilidade de P Mehlich-1. O fato dos tratamentos T3, T4 e T5, contendo fonte de P de baixa solubilidade não diferirem do tratamento T2,

contendo fonte solúvel é, certamente devido à natureza ácido do extrator Mehlic-1, o qual é capaz de extrair P não disponível às plantas (FREITAS, et al., 2013; MEDEIROS et al., 2021). Por sua vez, os tratamentos T2, T3 e T7 compostos pela fonte solúvel superfosfato simples (SFS) promoveram os maiores teores de P solúvel (Figura 2B). Quando se utilizou o SFS como fonte de P, a adição de BPCP nas maiores doses deste nutriente (T2 e T3) não afetou a disponibilidade do P solúvel, mas proporcionou um aumento na menor dose. De acordo com SAEID et al. (2018) as BPCP como *Bacillus subtilis* são capazes de aumentar a solubilidade de fosfatos e diminuir sua fixação no solo. De acordo com estes autores a produção de ácidos orgânicos por estes microrganismos são os responsáveis por este efeito.

**Tabela 2.** Quadrados médios para as variáveis teores de fósforo (P) no solo, teores de P na massa seca de raízes, caule e folhas, massa seca de raízes (MSR), massa seca de caule (MSC), massa seca de folhas (MSF), massa seca total (MST), acúmulo de P na planta (P-acum), índice de translocação de P (ITP) e eficiência de utilização de P (EUP).

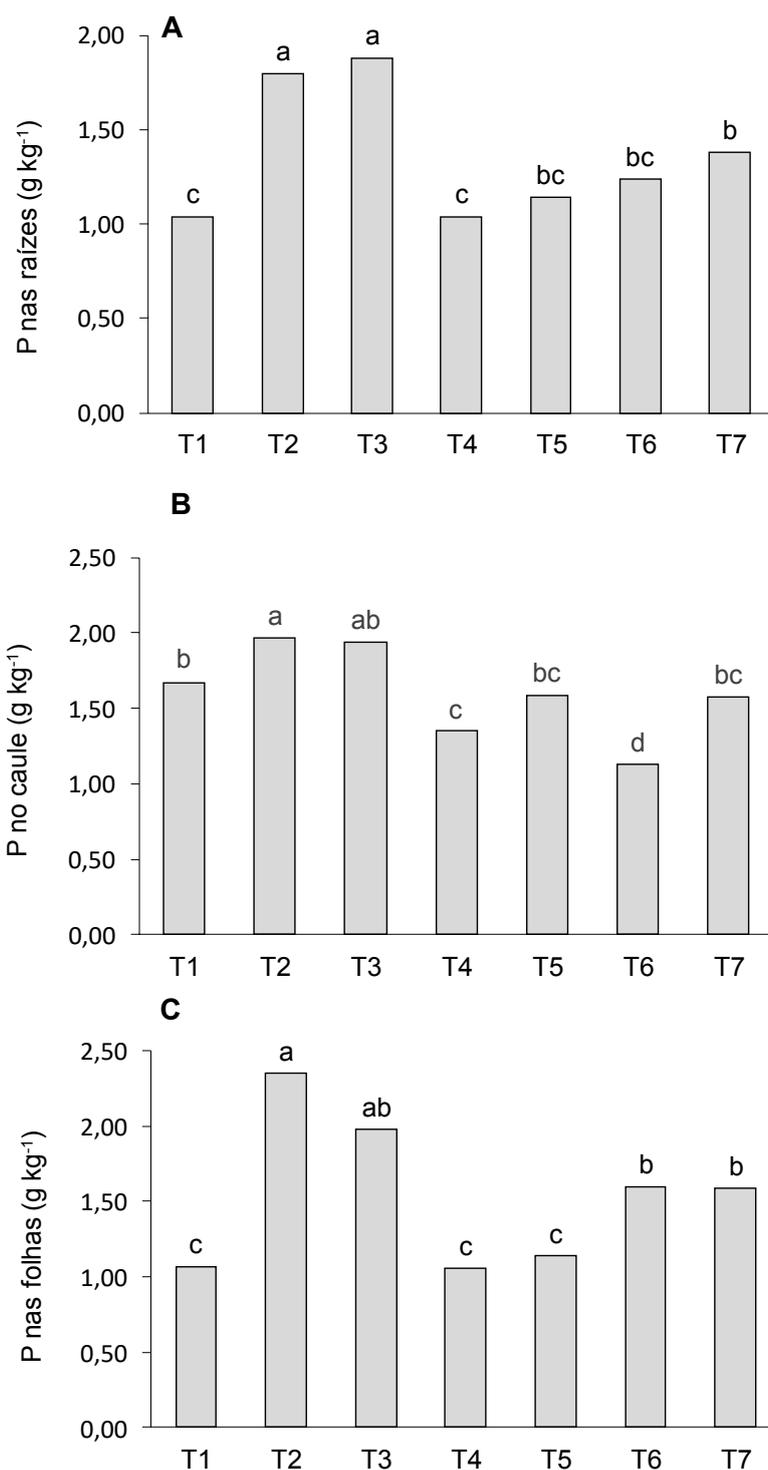
Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		P-Mehlic-1	P-solúvel	P-raiz	P-caule	
Tratamentos	6	5687,661**	6,739**	0,489**	0,359**	
Erro	21	53,175	0,239	0,012	0,014	
CV (%)	-	11,16	36,30	8,23	7,42	
		P-folhas	MSR	MSC	MSF	
Tratamentos	6	0,982**	1145,713**	1994,313**	380,613**	
Erro	21	0,075	55,007	58,398	7,966	
CV (%)	-	17,74	30,44	28,45	17,81	
		MST	P-acum	ITP	EUP	
Tratamentos	6	9237,788**	7519,076**	964,853**	1477,533**	
Erro	21	118,752	358,051	45,945	70,358	
CV (%)	-	16,20	17,29	10,83	19,34	

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo teste F

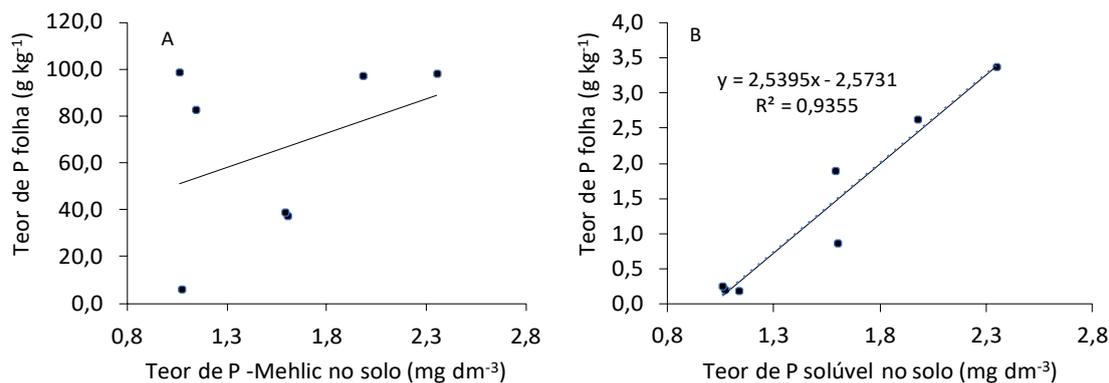


**Figura 2.** Teores de fósforo disponível, obtidos com o extrator Mehlic-1 (A) e solúvel em solução  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (B). T1: controle (sem P), T2:  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  P como superfosfato simples (SFS), T3:  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  P como SFS + bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), T4:  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  P como fosfato reativo natural (FN), T5:  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  P como FN+BPCP, T6:  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  de P como SFS e T7:  $100 \text{ mg dm}^{-3}$  P como SFS+BPCP. Médias seguidas por letra iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Os teores de fósforo nas raízes (Figura 3A), caule (Figura 3B) e folhas (Figura 3C) foram superiores nos tratamentos T2 e T3, ou seja, quando se utilizou a fonte SFS na maior dose. Nas folhas, os teores de P obtidos com a fonte insolúvel (T4 e T5) foram similares ao tratamento controle (sem adição de P). Estes resultados são concordantes com os teores de P solúvel no solo (Figura 2B), especialmente quando comparado com os teores de P nas folhas. Os teores de P no solo obtidos com o extrator Mehlic-1 não se relacionaram com os teores foliares de P (Figura 4A). Por outro lado, os teores de P solúvel estiveram diretamente relacionados com os teores foliares de P (Figura 4B). Este fato reforça que o extrator Mehlic-1 não é adequado para avaliar P no solo quando se utiliza fosfato natural como fonte de P (FREITAS, et al., 2013).

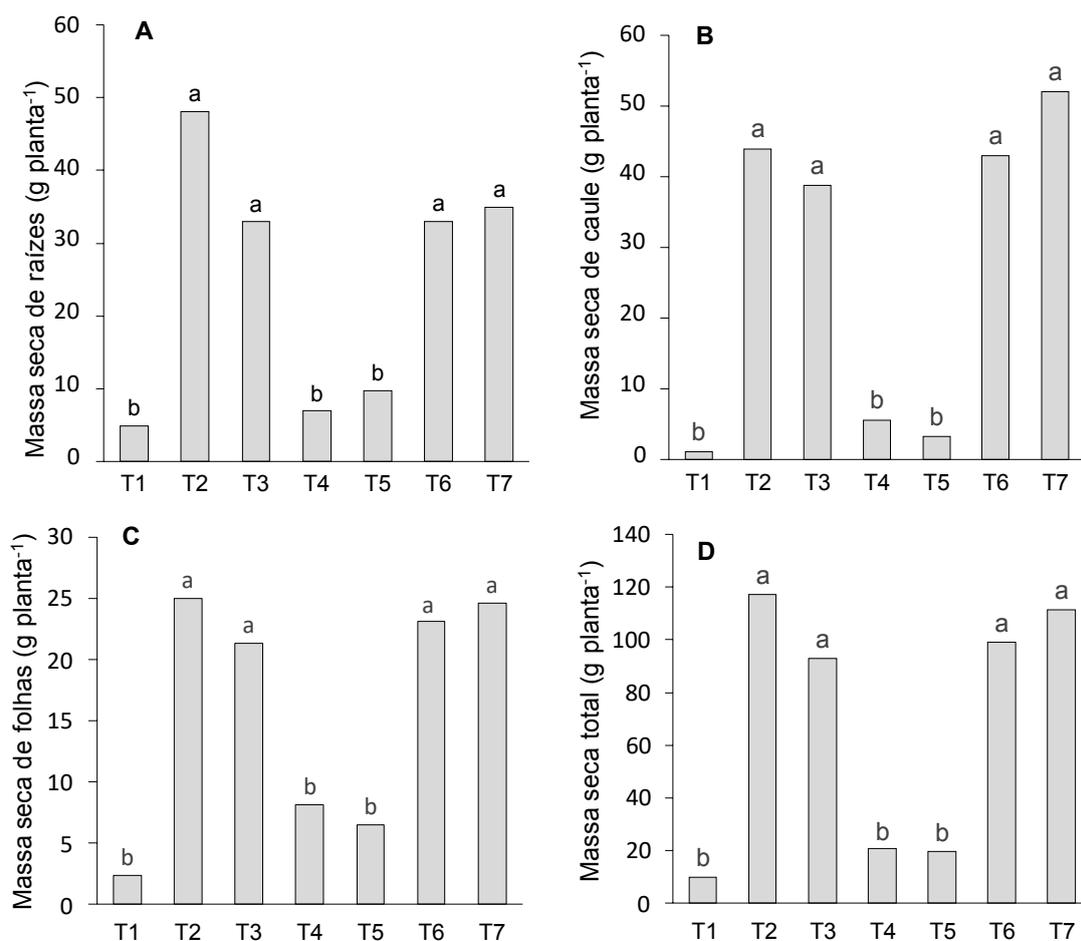


**Figura 3.** Teores de fósforo na massa seca de raízes (A), caule (B) e folhas (C) de plantas jovens de milho híbrido K9555VIP3, cultivadas sob diferentes tratamentos com fontes e doses de fósforo. T1: controle (sem P), T2: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como superfosfato simples (SFS), T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como fosfato reativo natural (FN), T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> de P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Médias seguidas por letra iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).



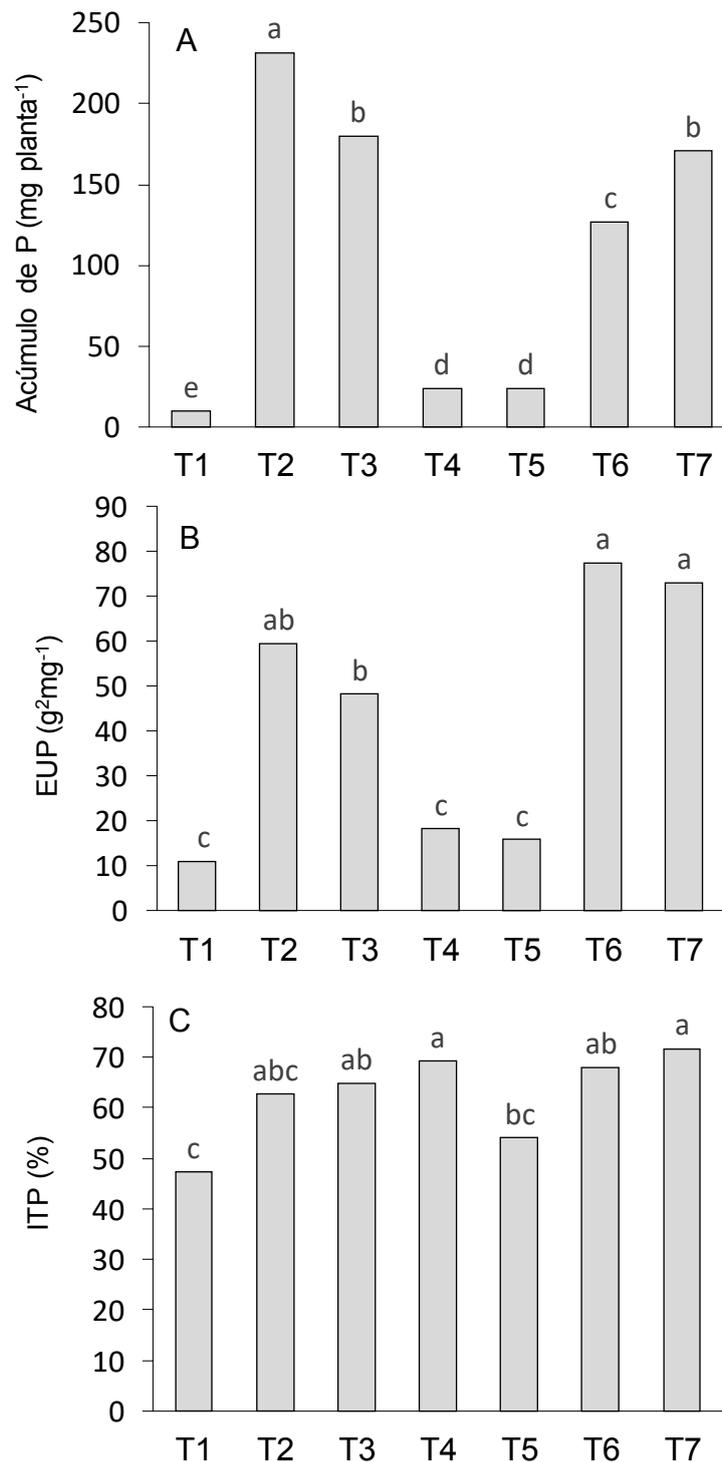
**Figura 4.** Relação entre os teores foliares de P e os teores de P obtidos com o extrator Mehlic-1 (A) e P solúvel (B).

A produção de massa seca de raízes (Figura 5A), caule (Figura 5B), folhas (Figura 5C) e total (Figura 5D) responderam aos tratamentos de forma similar aos teores de P solúvel no solo e na massa seca de folhas, ou seja, os maiores valores foram proporcionados pelos tratamentos T2, T3, T6 e T7, embora não tenha havido diferença significativa entre estes tratamentos. Da mesma forma, os tratamentos T4 e T5 promoveram maior produção de fitomassa seca em ao tratamento controle, promovendo um incremento na massa seca total de 211% e 200% em relação ao controle. Portanto, a maior produção de massa seca do milho foi consequência da maior disponibilidade de P no solo. Como é bem conhecido, fisiologicamente o fósforo atua na síntese e degradação de biomoléculas, transferência de energia, componente do material genético e, portanto, atua na divisão celular, e, por conseguinte é fundamental para a produção de fitomassa (TAIZ & ZEIGER, 2013; PLASSARD, 2018).



**Figura 5.** Produção de massa seca de raízes (A), caule (B), folha (C) e total (D) de plantas jovens de milho híbrido K9555VIP3, cultivadas sob diferentes tratamentos com fontes e doses de fósforo. T1: controle (sem P), T2: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como superfosfato simples (SFS), T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> mg dm<sup>-3</sup> P como fosfato reativo natural (FN), T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> de P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Médias seguidas por letra iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

O maior acúmulo de P na massa seca do milho foi proporcionado pelos tratamentos T2, T3, T6 e T7, com destaque para o tratamento T2 (Figura 6A). Os tratamentos T4 e T5 foram superiores ao tratamento controle, assim como ocorreu para a produção de massa seca. Por sua vez, os tratamentos T2, T3, T6 e T7, também promoveram maior eficiência de utilização de P (EUP), enquanto os tratamentos T1, T4 e T5 promoveram valores similares de EUP (Figura 6B). O índice de translocação de P (ITP) foi inferior no tratamento controle (Figura 6C) e superior nos tratamentos T4 e T7, embora estes não tenham se diferenciado T2, T3 e T6.



**Figura 6.** Acúmulo de fósforo (A), índice de translocação de P (ITP) e eficiência de utilização de P (EUP) de plantas jovens de milho híbrido K9555VIP3, cultivadas sob diferentes tratamentos com fontes e doses de fósforo. T1: controle (sem P), T2: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como superfosfato simples (SFS), T3: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS + bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), T4: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como fosfato reativo natural (FN), T5: 200 mg dm<sup>-3</sup> P como FN+BPCP, T6: 100 mg dm<sup>-3</sup> de P como SFS e T7: 100 mg dm<sup>-3</sup> P como SFS+BPCP. Médias seguidas por letra iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

## **5. CONCLUSÃO**

A adubação fosfata do milho sob crescimento inicial do milho, com superfosfato simples (SFS), associadas ou não a bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) aumentou os teores de P nas massa seca do milho e promoveu aumento na produção de massa seca e acúmulo de P.

A adição de BPCP à menor dose de P usando SFS aumentou a disponibilidade de P para as plantas, mas não contribuiu para aumentar a solubilidade do fosfato natural e a disponibilidade de P para o milho.

## 6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO FF (2011) Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. *Acta Scientiarum*, 33:355-360.

ARAÚJO, J.L.; AVILA, F.W.; FAQUIN, V. Phosphite and phosphate in the accumulation and translocation of nutrients in common bean<sup>1</sup>. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia v. 46, n. 4, p. 357-366, 2016.

ARAÚJO, M. S. B. et al. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 28, p. 259-268, 2004.

BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 77, n. 3, p. 549-579, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652005000300014>.

BARROS, J. F.; CALADO, J. G. A Cultura do Milho. Universidade de Évora. 2014. Disponível em <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>. Acesso em 03/05;2022

BOLAN, N. S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, The Hague, v. 134, p. 189-207, 1991.

BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A.; RAIJ, B. V.; FEITOSA, C.T.; HIROSE, R. (1991), Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15:315-319

CAMARGO, F. A. O.; SÁ, E. L. S. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; MARINO, COELHO, M.R.; SANTOS, H.G.; SILVA, E.F. & AGLIO, M.L.D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JR., E. & PERES, J.R.R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. p. 1-11.

CAMELE, I.; ELSHAFIE, H. S.; CAPUTO, L.; SAKR, S. H.; DE FEO, V. *Bacillus mojavensis*: biofilm formation and biochemical investigation of its bioactive

metabolites. Journal of Biological Research, v. 92, n. 1, article 8296, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4081/jbr.2019.8296>.

COELHO; M. A. "Nutrição e Adubação do Milho"; Sete Lagoas, MG condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento).; Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>.; Acesso em 03/05/2022.

DE SOUZA, ECA et al. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília Df: Empresa Brasil Pesq Agropec, v. 33, n. 7, p. 1031-1036, 1998. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/3659>>. Dezembro, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Último acesso em 28/04/2022.

DUDA, G. P. Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. 2000. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3.ed. Brasília DF, Embrapa Solos, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, SPI/ CNPS, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA).; Disponível em: <https://www.embrapa.br/>; Acesso em 03/05/2022

ETESAMI, H. et al. Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects - a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 17, p. 897-911, 2017.

FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic FERNANDES.; F.C. da S.; LIBARDI.; P.L.; “Distribuição do Nitrogênio do Sulfato de Amônio (N) no Sistema Solo-Planta, em uma Sucessão de Culturas, Sob Sistema Plantio Direto” *R. Bras. Ci. Solo*, 36:885-893, 2012.

FRANDULOSO; J. F.; LONA; M. do. C.; FONTANIVA. S.; CZYEZA; R. V.; “Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho”. *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 57, n.5, p. 686-694, set/out, 2010

FREITAS, I.F. et al. Phosphorus extracted by ion exchange resins and mehlich-1 from oxisols (latosols) treated with different phosphorus rates and sources for varied soil-source contact periods. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. v. 37, n.3, p.667-677. DOI: 10.1590/S0100-06832013000300013

FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M. J. Phosphorus in the global environmental: transfers, cycles and management. In: TIESSEN, H. (ed.). *Phosphorus in the global environmental: transfers, cycles and management*. Chichester, U.K: International Council of Scientific Unions, 1995. p. 107–137.

GAIND, S.; GAUR, A. C.; (1991) Thermotolerant phosphate solubilizing microorganisms and their interaction with mung bean. *Plant and Soil*, 133:141-149.

GATIBONI; L. C.; “DISPONIBILIDADE DE FORMAS DE FÓSFORO DO SOLO ÀS PLANTAS” Santa Maria, RS, Brasil, 2003.

GOMES, E. A.; SILVA, U. de C.; MARRIEL, I. E.; PAIVA, C. A. O.; LANA, U. G. de P. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 13, n. 1, p. 69-81, 2014. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p69-81>.

HOPF, J. Influence of microorganisms on biotite dissolution: An experimental approach *Chemie der Erde*, v. 69, p, 45–56, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). “Produção de Milho em grão em 2020”. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao/br>. Acesso em 28/04/2022.

J.; CAMARGO, F. A. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 93-116.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P. & SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco: Descrição de perfis de solos e análises. Recife, Ministério da Agricultura/ Sudene, 1972a. 354p. v.2. (Boletim Técnico, 26; Série Pedologia, 14).

KAMINSKI, J; PERUZZO, G.; (1997) Eficácia de fosfatos naturais em sistemas de cultivo. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria, Boletim Técnico n.3, 31p.

KLOEPFER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free-living bacterial inoculafor enhancing crop productivity. Trends in Biotechnology, v.7, p.39-43, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; (1999) Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. Scientia Agrícola, 56:1-9.

LIM, J. H.; KIM, S D. Induction of drought stress resistance by multifunctional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in pepper. Plant Pathology Journal, v. 29, n.2, p. 201-208, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5423%2FPPJ.SI.02.2013.0021>.

LOBO, L. L. B.; Potencial de bactérias endofíticas na promoção do crescimento de plantas de milho. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/155924>. Acesso em: 16 dez. 2022.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C.H.E.; (2012) Disponibilidade de fósforo em MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1980. 251p

MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 201p

MARIMUTHU, S.; SUBBIAN, P.; RAMAMOORTHY, V.; SAMIYAPPAN, R. Synergistic effect of combined application of Azospirillum and Pseudomonas fluorescence with inorganic fertilizer on root rot incidence and yield of cotton. Journal of Plant Diseases and Protection, v. 109, n. 6, p. 569-577, 2002.

MAZZUCHELLI.; R. de. C.L.; SOSSAI.; B.F.; ARAÚJO; F.F do; "INOCULAÇÃO DE Bacillus subtilis E Azospirillum brasilense NA CULTURA DO MILHO" Colloquium Agrariae, v. 10, n.2, Jul-Dez. 2014, p.40-47. DOI: 10.5747/ca.2014.v10.n2.a106

MEDEIROS, M.D.; Comparison of methods for extracting available phosphorus from soils of the semi-arid. Revista Ciência Agronômica, v. 52, n. 4, e20207633, 2021.

MENDES; I. de. C.; JUNIOR; F. B. de. R.; "Microrganismos e Disponibilidade de Fósforo (P) nos Solos: uma análise crítica". Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Abril, 2003.

NOVAIS, F.R.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em outlook. Fertility Research, v.45, p.91-100, 1996.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F. de.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. N.; FERTILIDADE DO SOLO 1º Edição. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa Minas Gerais 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG: UFV. DPS, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, C. A.; Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos®(Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja. Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126348>. Acesso em: 16 dez. 2022.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.

PEREIRA, D. S.; COSTA, Y. K. S. da.; CARVALHO, L. B. de.; O elemento P: formas e dinâmica em solos tropicais. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. <http://www.fcav.unesp.br/rab> e-ISSN 2594-6781 Volume 5 (2021).

PLASSARD, C. Lack of phosphorus reserves and remobilization in greypoplar (*Populus×canescens*): an exception among deciduous tree species? *Tree Physiology*, v. 38, p.1–5, 2018. doi:10.1093/treephys/tpx170

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24:29-96, 1972.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. (IAC.Boletim Técnico, 100). solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. *Bioscience Journal*, 28:1-7.

RAIJ, B. Van. Fertilidade do Solo e Adubação. Piracicaba, São Paulo, Ceres, Potafos. 1991. 343p.

REIS, C. de. O.; SOUZA, I. R. P de.; MAGALHÃES, P. C.; MARRIEL, I. E.; ANDRADE, C, de. L. T. de.; Resposta do Milho à Inoculação com Rizobactérias sob Diferentes Níveis de Estresse Hídrico. ISSN 1679-0154 Setembro / 2022. Embrapa Milho e Sorgo Sete Lagoas, MG 2022.

RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, Victoria, v. 28, p. 897-906, 2001.

ROSA, P.A.L. Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. *Frontiers in Environmental Science*. v.8, p.32, 2020. doi: 10.3389/fenvs.2020.00032

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANIEK, J. Phosphorus Solubilization by *Bacillus* Species. *Molecules*. 6;23(11):2897, 2018. doi: 10.3390/molecules23112897. PMID: 30404208; PMCID: PMC6278551.

SONG, W. Effect of *Bacillus subtilis* on granite weathering: A laboratory experiment. *Catena*, v.70, p. 275–281, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5.ed. Porto Alegre:Artemed, 2013. 954p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

TURNER, B. L. Consequences of the physical nature of the parent material for pedogenesis, nutrient availability, and succession in temperate rainforests. *Plant and Soil*, The Hague, v. 423, p. 533–548, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3514-4>. Acesso em: 10 de dezembro. 2022.

VANLOON, G. W.; DUFFY, S. J. *Environmental chemistry - a global perspective*. New York: Oxford University Press, 2000. p. 337-347.

VASCONCELLOS; C.A.; ALVES; V. M. C; FILHO; I. A. P.; PITTA; G. V. E. “Nutrição e Adubação do Milho Visando Obtenção do Minimilho”; Sete Lagoas, MG Novembro, 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/485233/1/Circ09.pdf>. Acesso em 28/04/2022.

VASCONCELLOS; PITTA; G. V. E.; FRANÇA; G. E. de.; ALVES; V. M. C. “Embrapa milho e sorgo”. Disponível na Revista Cultivar de 10/11/2015. Acesso em 20/08/2022.

VELOSO; M. E. da C.; DUARTE; S. N.; NETO; D. D.; MIRANDA; J. H.; SILVA; E. C. da.; SOUSA; V. F. de. “Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de Várzea, sob sistema de drenagem subterrânea”. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.5, n.3, p.382-394, 2006

YADAV, R. *Bacillus subtilis* CP4, isolated from native soil in combination with arbuscular mycorrhizal fungi promotes biofortification, yield and metabolite production in wheat under field conditions. *Journal of Applied Microbiology*, v.131, p.339-359, 2020.