

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

NATHALIA DA SILVA BORTONIO

Associação de *Bacillus* sp. ao organomineral 06.30.00 na cultura do milho

Monte Carmelo

2023

NATHALIA DA SILVA BORTONIO

Associação de *Bacillus* sp. ao organomineral 06.30.00 na cultura do milho

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Área de concentração: Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto de Oliveira Mendes

Monte Carmelo

2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

B739 Bortonio, Nathalia da Silva, 2002-
2023 Associação de Bacillus sp. ao organomineral 06.30.00
na cultura do milho [recurso eletrônico] / Nathalia da
Silva Bortonio. - 2023.

Orientador: Gilberto de Oliveira Mendes.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em
Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Mendes, Gilberto de Oliveira, 1983-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia.
Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

NATHALIA DA SILVA BORTONIO

Associação de *Bacillus* sp. ao organomineral 06.30.00 na cultura do milho

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Área de concentração: Agronomia.

Monte Carmelo, 05 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

Gilberto de Oliveira Mendes

Orientador - UFU

Thúlio Pereira Mattos

Membro da banca - UFU

Fernando Garcia

Membro da banca - UFU

AGRADECIMENTOS

À Deus e à espiritualidade que permeiam minha vida, proporcionando-me força.

A meus pais, Mariana e Ricardo, expresso minha gratidão profunda. Vocês foram a base sólida sobre a qual construí meus sonhos e alcancei meus objetivos, a vocês dedico essa conquista.

À minha irmã Beatriz, agradeço pelo encorajamento e trocas de conversas inspiradoras.

À minha avó Divina, cuja sabedoria e amor transcende o tempo e o espaço, agradeço por sua proteção e presença.

Ao meu noivo Heitor, seu apoio incondicional e amor inabalável foram a âncora que me sustentou em momentos de dúvida e cansaço.

Agradeço também ao meu orientador Gilberto, por sua disponibilidade, paciência, auxílio e confiança.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado compartilhando risos, desafios e momentos de descontração.

Agradeço também à Universidade Federal de Uberlândia.

Por fim, expresso minha gratidão ao Grupo Vittia, pela oportunidade de desenvolvimento conjunto do trabalho.

RESUMO

Representando a maior cultura agrícola do mundo em produção, o milho alimenta diversas cadeias produtivas, principalmente a produção de carne mundial. A cultura é altamente exigente em nitrogênio e potássio, seguido do fósforo (P), elemento encontrado em formas orgânicas e inorgânicas no solo. O P participa do desenvolvimento radicular, florescimento, fecundação, formação e maturação de grãos, acarretando perdas severas quando em carência. Considerando a grande importância do P e sua demanda, os organominerais representam uma alternativa inovadora, uma vez que combinam matriz orgânica + mineral para fertilização do solo, além de realizar a ciclagem de resíduos. Dentre as tecnologias que visam aumentar a eficiência no uso do fósforo no solo, os microrganismos solubilizadores atuam na mineralização do fósforo orgânico e/ou na solubilização de fosfato a partir de minerais, sendo os principais gêneros de bactérias solubilizadoras os *Bacillus* sp. e *Pseudomonas* sp. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo comparar o efeito de fertilizante químico, organomineral e organomineral associado a *Bacillus* sp., a fim de verificar a eficiência no fornecimento de fósforo à cultura do milho nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo, testando 10 tratamentos (MAP, testemunha sem dose de fósforo, organomineral 06.30.00 e organomineral 06.30.00 enriquecido com *Bacillus* sp. nas doses de 100%, 75% e 50% em comparação com a dose recomendada para a cultura), 2 vasos por parcela e 5 repetições. Avaliou-se: altura de plantas semanalmente, massa seca radicular e de parte aérea, teor de P no tecido vegetal e no solo, atividade enzimática e contagem bacteriana. Após análises, constatou-se que, aos 58 dias, o organomineral convencional e enriquecido com *Bacillus* sp. na dose de 100%, em comparação com a fonte mineral apresentou maior rendimento de altura, massa seca de raiz e parte aérea. Além disso, o organomineral enriquecido e testemunha apresentaram maior atividade enzimática, enquanto o fertilizante químico apresentou efeito danoso à microbiota do solo.

Palavras-Chave: bactérias solubilizadoras; fósforo; milho; organomineral.

ABSTRACT

Representing the largest agricultural crop in the world in production, corn feeds several production chains, mainly the world's meat production. The crop is highly demanding in terms of nitrogen and potassium, followed by phosphorus (P), an element found in organic and inorganic forms in the soil. P participates in root development, flowering, fertilization, grain formation and maturation, causing severe losses when lacking. Considering the great importance of P and its demand, organominerals represent an innovative alternative, since they combine organic + mineral matrix for soil fertilization, in addition to carrying out waste cycling. Among the technologies that aim to increase the efficiency in the use of phosphorus in the soil, solubilizing microorganisms act in the mineralization of organic phosphorus and/or in the solubilization of phosphate from minerals, with the main genera of solubilizing bacteria being *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. Thus, the present study aimed to compare the effect of chemical, organomineral and organomineral fertilizer associated with *Bacillus* sp., in order to verify the efficiency in providing phosphorus to the corn crop in the early stages of crop development. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Uberlândia, Monte Carmelo campus, testing 10 treatments (MAP, organomineral 06.30.00 and organomineral 06.30.00 enriched with *Bacillus* sp. at doses of 100%, 75% and 50% in comparison with the control), 2 pots per plot and 5 replicates. Weekly plant height, root and shoot dry mass, P content in plant tissue and soil, enzymatic activity and bacterial count were evaluated. After analyses, it was found that, at 58 days, the conventional organomineral and enriched with *Bacillus* sp. in the dose of 100%, in comparison with the mineral source, it presented higher yield of height, dry mass of root and aerial part. In addition, the enriched organomineral and control showed greater enzymatic activity, while the chemical fertilizer had a harmful effect on the soil microbiota.

Keywords: solubilizing bacteria; phosphorus; corn; organomineral.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Análise química do solo utilizado.....	21
Figura 2 -	Experimento montado.....	22
Figura 3 -	Medição de altura de plantas.....	22
Figura 4 -	Desempenho dos tratamentos aos 58 dias após semeadura.....	23
Figura 5 -	Quantificação de massa seca de parte aérea.....	24
Figura 6 -	Visualização dos halos de bactérias solubilizadoras de fósforo..	25
Gráfico 1 -	Altura final de plantas de milho em função de diferentes tratamentos.....	27
Gráfico 2 -	Massa seca de raiz em função de diferentes tratamentos.....	29
Gráfico 3 -	Massa seca de parte aérea em função de diferentes tratamentos..	29
Gráfico 4 -	Atividade da enzima β -glicosidase em solo cultivado com milho adubado com diferentes fontes de P.....	32
Gráfico 5 -	Contagem de colônias de bactérias solubilizadoras de fósforo.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Descrição dos tratamentos.....	20
Tabela 2 -	Balanceamento de N, K e demais nutrientes.....	21
Tabela 3 -	Composição do meio ágar NBRIP.....	24
Tabela 4 -	Teores médios de fósforo foliar em função de diferentes tratamentos..	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1	A CULTURA DO MILHO.....	15
3.2	IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO	16
3.3	USO DE MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO	17
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS VEGETATIVOS	27
5.1.1	Altura de plantas.....	27
5.1.2	Avaliação de massa seca foliar e radicular	28
5.2	AVALIAÇÃO NUTRICIONAL	30
5.2.1	Fósforo no tecido vegetal.....	30
5.2.2	Teor de fósforo no solo	30
5.3	ATIVIDADE MICROBIANA.....	32
5.3.1	Atividade enzimática	32
5.3.2	Contagem bacteriana.....	33
6	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Botanicamente, o milho pertence à ordem Graminae, família Poaceae, gênero *Zea*, espécie *Zea mays* L., oriundo do teosinto e cultivado há mais de 8.000 anos no mundo todo devido sua alta adaptabilidade, representada por diversos genótipos adaptados a climas tropicais, subtropicais e temperados, podendo ser destinado para grãos, consumo *in natura* (milho verde), silagem e fabricação de etanol (BARROS & CALADO, 2014).

Considerado uma potência agrícola, o Brasil atingiu 73,18 milhões de hectares de área plantada em grãos na safra de 2022/23, representando acréscimo de 3,5% em relação à safra anterior. Dentre as culturas, destacam-se (em milhões de hectares) a soja (43,52), o milho (22,03) e o feijão (2,77), sendo possível observar acréscimo produtivo de 15%, 7,9% e 0,5%, respectivamente (CONAB, 2023).

Além da grande importância produtiva e participação no agronegócio brasileiro, a cultura do milho é a única a ultrapassar 1 bilhão de toneladas colhidas por ano, alcançando 1,11 bilhões de toneladas na safra de 2019/2020, alimentando diversas cadeias produtivas, principalmente a produção de carne (MIRANDA et al., 2021). De modo geral, o mercado de milho baseia-se em quatro grandes países produtores: Estados Unidos, Brasil, Ucrânia e Argentina. Apesar de a China ocupar segundo lugar no ranking de países produtores, sua produção é destinada majoritariamente ao consumo interno, não havendo expressiva participação no mercado global do grão (MIRANDA et al., 2021).

A produtividade da cultura depende de diversos fatores bióticos e abióticos que variam desde às condições climáticas, manejo de solo, manejo fitossanitário e exigências nutricionais. Dentre os nutrientes mais exigidos pela cultura, o nitrogênio (N) e potássio (K) são os requeridos em maiores quantidades, seguidos pelo fósforo (P) (GONDIM et al., 2016). O P é encontrado em formas orgânicas e inorgânicas no solo, atuando no desenvolvimento radicular, florescimento, fecundação, formação e maturação dos grãos (CARMO et al., 2014). Por isso, a carência de fósforo nas plantas resulta na redução de crescimento, área foliar, número de folhas e diâmetro de caule (TAIZ et al., 2017).

Considerando a constante necessidade de ciclagem dos nutrientes, o emprego de resíduos na fertilização dos solos favorece a recuperação de diversos elementos químicos essenciais, dentre eles o P, por meio da adição de matéria orgânica, ocasionando melhoria na estrutura física e química do solo. Assim, como produto alternativo e inovador, os fertilizantes organominerais são a combinação de fertilizantes minerais associados a fontes orgânicas,

obtidas através de resíduos diversos (LEITE & GALVÃO, 2008). Assim, o uso de fontes de matéria orgânica possibilita a racionalização do adubo mineral, promovendo maior capacidade de troca catiônica, diminuindo perdas por lixiviação e auxiliando na liberação dos nutrientes, permitindo boas produtividades com menor custo com fertilizantes (BITTENCOURT et al., 2006).

Dentre os nutrientes mais extraídos pela cultura, têm-se tanto os macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, quanto os micronutrientes: ferro, manganês, zinco, boro, cobre e molibdênio. Embora a exigência em fósforo seja em quantidades menores que o N e K, sabe-se que, para a produtividade de 9,17 ton/ha de grãos, a extração média de P é de 34 kg/ha, sendo equivalente a 77,86 kg de P_2O_5 /ha, dos quais 77 a 86% são translocados para os grãos. No entanto, vale lembrar que o aproveitamento do nutriente é baixo (20 a 30%), devido à alta retenção por adsorção e precipitação, reduzindo a disponibilidade para as plantas (COELHO, 2006).

Dentre as tecnologias para aumentar a eficiência do uso do fósforo, destacam-se os microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF). A inoculação desses microrganismos pode reduzir os custos de produção, danos ambientais, estimular a produção de fitormônios, enzimas e sideróforos, além de favorecer a bioproteção contra patógenos e aumentar a absorção de água e outros nutrientes (RIBEIRO et al., 2018). Diversos estudos mostraram que o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato aumentam significativamente a concentração de fósforo disponível (P-disp) e a absorção do nutriente pelas plantas, podendo atuar tanto na mineralização do fósforo orgânico quanto na solubilização de fosfato a partir de minerais (KALAYU, 2019).

Dentre os principais microrganismos utilizados para fins de solubilização de fósforo, as bactérias do gênero *Bacillus* sp. e *Pseudomonas* sp. têm ganhado destaque, apresentando alta capacidade de fixar nitrogênio, solubilizar fósforo, secretar hormônios vegetais como ácido indolacético (auxina), favorecendo o desenvolvimento das plantas e à resistência das plantas a doenças, metais pesados e estresses (MAHANTY et al., 2017).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo comparar o efeito de fertilizantes químicos, organominerais e organominerais associados a *Bacillus* sp., a fim de verificar a eficiência no fornecimento de fósforo para a cultura do milho nos estágios iniciais de desenvolvimento.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A CULTURA DO MILHO

A domesticação do milho iniciou entre os anos 12.000 e 8.000 a.C. na região da Mesoamérica a partir do teosinte, uma gramínea com espigas sem sabugo encontrada naturalmente na região, com alta capacidade de cruzar com o milho e produzir descendentes férteis. As primeiras evidências do cultivo de milho foram encontradas próximas ao Vale de Balsas, no Sudoeste do México, chegando à América do Sul apenas em 6.000 a.C. (SOLOGUREN; CAIXETA-FILHO; NUSSIO, 2015).

Com a chegada de Colombo na América, o cereal foi levado à Europa, sendo distribuído pelo mundo todo. No Brasil, o milho era cultivado pelos índios antes da chegada dos portugueses na Bahia. Tribos guaranis e tupis tinham o cereal como principal ingrediente de sua dieta, sendo consumido na forma de mingau, assado, cozido, bebida fermentada ou como pipoca e canjica. Após o período colonial, o milho passou a ser utilizado em larga escala em variadas formas, tanto para consumo humano, produção de biocombustíveis e ração animal (SOLOGUREN; CAIXETA-FILHO; NUSSIO, 2015).

Atualmente, o milho é utilizado em diversos seguimentos produtivos, sendo necessária prévia transformação para consumo humano (exceto para consumo do milho verde). Dentre os processos para industrialização, a moagem úmida e seca são amplamente utilizadas, resultando em subprodutos como farinha de milho, fubá, quirela, farelos, óleo e amido. Além disso, o processo de enlatamento tem destaque no cenário mundial, sendo utilizado o milho doce para tal destinação. Para consumo animal, a cultura é utilizada para produção de silagem, industrialização do grão e mistura do grão com concentrados proteicos (rações) (GARCIA et al., 2006).

Além dos produtos supracitados, diversos subprodutos são obtidos a partir do milho como: acetato de cálcio e magnésio, adesivos, alimentos congelados, antibióticos, aspirinas, estofamento de automóveis, batata chips, cerveja, cereais matinais, copos e pratos de papel, creme de barbear, explosivos, fibra de vidro, herbicidas naturais, manteiga de amendoim, maionese, molhos para saladas, pigmentos, suplementos para alimentação humana e animal, refrigerantes, tinta látex, entre outros (PAES, 2006).

Dessa forma, considerando a grande importância da cultura do milho, torna-se necessário assegurar altas produtividades a fim de atender às demandas populacionais através de altas produtividades por área plantada.

3.2 IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO

Por ser considerado um recurso não-renovável, torna-se necessário uma boa gestão do fósforo para alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, que visa fome zero, agricultura sustentável, água limpa, saneamento e vida aquática, uma vez que é o macronutriente mais limitante na produtividade agrícola, sendo um nutriente-chave para a segurança alimentar, energética e hídrica futura, gerando consequências diretas para o desenvolvimento socio-econômico mundial (LANGHANS et al., 2022).

Dentre os entraves para suprimento da demanda mundial do P, sabe-se que, os solos tropicais atuam como dreno do nutriente através da adsorção a óxidos de ferro e alumínio e/ou precipitação desses metais, acarretando grande porcentagem de perda das dosagens de P aplicadas. Além disso, apenas 52% do P é recuperado pelos solos através da degradação da biomassa de cultivos anteriores, perdendo-se 48% do nutriente pela retenção do solo, tornando-se necessário aplicar crescentes doses do nutriente para compensação das perdas (NOVAIS; SMITH, 1999; CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2011; ROY et al., 2016;).

Além disso, a resposta das culturas à adubação fosfatada pode sofrer alterações, variando de acordo com a disponibilidade inicial de P no solo e tempo de contato com óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), que são os principais agentes na adsorção do P (ROSSI et al., 2020). Dentre as formas de P encontradas no solo, as plantas absorvem apenas as formas iônicas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , sendo exigidas pela cultura do milho desde o início do seu desenvolvimento até o florescimento, caracterizando uma taxa de absorção quase estável de V6 a R6, seguido pelo maior pico de absorção ocorrendo na fase de enchimento de grãos, (BENDER et al., 2013).

O P atua na formação e crescimento de raízes, além da melhoria na qualidade das sementes, onde são armazenados sais do ácido fítico, constituinte da fitina que é degradada durante a germinação, gerando a liberação de nutrientes para utilização do desenvolvimento do embrião e plântula (AVALHAES et al., 2009). Além disso, participa na síntese de proteínas, sendo constituinte de nucleoproteínas necessárias para divisão celular, atuando no processo de absorção iônica e nas moléculas de ácidos nucleicos, fosfolipídeos e ATP (MALAVOLTA, 2006).

A carência de P nas plantas ocasiona a diminuição do crescimento, necrose partindo das pontas das folhas para o interior do limbo, sendo as folhas velhas mais afetadas. A coloração púrpura nas bordas de folhas inferiores e caule é uma característica marcante de plantas com deficiência de fósforo, gerando atraso na iniciação floral, espigas malformadas, tortas, com falhas e maturação retardada e desuniforme (ALMEIDA, 2019). Assim, novas práticas e/ou

tecnologias que permitam a melhoria do desempenho de fertilizantes fosfatados e o melhor aproveitamento das reservas naturais são essenciais para o uso mais sustentável desse recurso (WITHERS et al., 2015, 2018; VASSILEV et al., 2019; PAVINATO et al., 2020).

3.3 USO DE MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO

Considerando a composição da microbiota dos solos, a população de bactérias solubilizadoras de fosfato compreende entre 1% a 50% da microbiota total com destaque para os gêneros *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Azobacter* sp. e *Burkholderia* sp., enquanto os fungos solubilizadores de fosfato abrangem 0,1% a 0,5% da população total, destacando-se os gêneros *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. (CHEN et al., 2006; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2009; GOMES et al., 2014; ETESAMI; MAHESHWARI, 2018; KALAYU, 2019).

Segundo Sharma et al., (2013), a atuação dos microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF) ocorre em todas as etapas do ciclo do P no solo: dissolução-precipitação, sorção-dessorção e mineralização-imobilização. Dentre os mecanismos de solubilização do P, têm-se:

- 1- Liberação de ácidos orgânicos, sideróforos, prótons, íons hidroxila, CO₂;
- 2- Liberação de enzimas extracelulares (mineralização bioquímica);
- 3- Liberação através da degradação do substrato (mineralização biológica).

Estirpes de bactérias do gênero *Bacillus* sp. e *Pseudomonas* sp. foram isoladas na cultura da soja, na China, e apresentaram alta capacidade de secreção de ácidos orgânicos, solubilização de P, produção de auxina e sideróforos (WANG et al., 2020). Já Aketi et al., 2015 realizou inoculação de duas cepas de *Bacillus aryabhatai*, na Índia, apresentando capacidade de mineralizar fitato e solubilizar fosfato, aumentando o teor de P disponível no solo.

Com base nisso, os microrganismos podem atuar permitindo o acesso das plantas ao P não-lábil do solo, diminuindo a fixação do nutriente, o que potencializa a eficiência da adubação fosfatada (NASCIMENTO et al., 2021). Dessa forma, a utilização dos MSFs através de diferentes modos de aplicação, torna-se importante para outras culturas de interesse agrícola que não tenham alta capacidade de simbiose, representando uma alternativa para aumentar o aproveitamento de P.

Os estudos com MSFs tem crescido nos últimos anos. Contudo, ainda são poucos os produtos disponíveis no mercado, especialmente no Brasil. Além disso, a atividade agropecuária brasileira é muito diversificada e explorada em diferentes climas e solos diversos,

exigindo a constante busca por cepas e produtos próprios para cada bioma. Vários estudos demonstraram que a inoculação com MSF promove o crescimento vegetal e acúmulo de P nos tecidos vegetais (MITTAL et al., 2008; JAIN; SAXENA; SHARMA, 2010; ALORI; GLICK; BABALOLA, 2017; MUNDIM; MACIEL; MENDES, 2022; SILVA et al., 2022; ARAÚJO et al., 2023).

Alguns estudos evidenciam que a inoculação de microrganismos solubilizadores aumenta a absorção de P mesmo na ausência de adubação fosfatada, sendo capazes de liberar parte do P presente no solo em formas pouco solúveis e disponibilizá-lo para a planta (ASEA et al., 1988; MITTAL et al., 2008; JAIN; SAXENA; SHARMA, 2010;; NASCIMENTO et al., 2021), o que possibilita o acesso aos estoques de P acumulados no solo devido à fixação após vários ciclos de cultivos, chamado de legacy P. Estima-se que o acesso ao legacy P possa representar uma economia de 31,8 Tg de P (teragrama) até 2050 para o Brasil (PAVINATO et al., 2020). Além do impacto financeiro, essa economia aliviaria a pressão sobre as reservas globais de P.

O desenvolvimento de produtos enriquecidos em MSFs é uma ferramenta para aumentar a produtividade agrícola, sendo a solubilização de P um dos vários mecanismos de promoção de crescimento vegetal por microrganismos, que incluem a síntese de fitormônios e de reguladores de crescimento vegetal, disponibilização de nutrientes e supressão de fitopatógenos (NADEEM et al., 2013; OLANREWAJU; GLICK; BABALOLA, 2017; PANDEY et al., 2019; VASSILEVA et al., 2020; TRIVEDI et al., 2020; ALVES et al., 2021; ARAÚJO et al., 2023). A engenharia do microbioma vegetal é uma nova fronteira da pesquisa com microrganismos benéficos do solo que busca, por meio da manipulação da microbiota associada à planta, explorar os vários mecanismos de promoção de crescimento microbianos (PÉREZ-JARAMILLO; MENDES; RAAIJMAKERS, 2016; TOJU et al., 2018; QIU et al., 2019; VASSILEVA et al., 2020). Alguns microrganismos apresentam vários mecanismos de promoção de crescimento, e, por isso, representam uma promissora alternativa para desenvolvimento de inoculantes multifuncionais (MENDES et al., 2015; VASSILEVA et al., 2010, 2020, 2022).

O desenvolvimento e otimização de inoculantes e/ou formulações com os microrganismos de interesse é um dos desafios dessa técnica, uma vez que o estabelecimento no alvo depende de vários fatores físicos, químicos e da própria interação com a comunidade microbiana nativa (MALUSÁ; SAS-PASZT; CIESIELSKA, 2012; VASSILEVA et al., 2020). A matriz orgânica de fertilizantes organominerais oferece excelente oportunidade para veiculação de microrganismos, uma vez que pode atuar como fonte de energia, carbono e

nutrientes para o metabolismo microbiano. Além disso, a veiculação conjunta do microrganismo e do nutriente P pode potencializar o efeito de disponibilização do elemento, uma vez que o coloca em contato direto com os metabólitos liberados pelo microrganismo (PAIVA et al., 2020; SOUSA et al., 2021)

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo com coordenadas geográficas 18°43'41''S e 47°31'26''O, situada a 903 m de altitude, em casa de vegetação. Os tratamentos foram compostos por delineamento inteiramente casualizado, sendo 10 tratamentos com 2 vasos por parcela e 5 repetições, totalizando 100 vasos de 5 L, conforme a Tabela 1. Os fatores analisados foram:

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos.

Tratamentos	Descrição	Dose recomendada
T1	Testemunha	-
T2	MAP*	100% da dose recomendada de P ₂ O ₅
T3	MAP*	75% da dose recomendada de P ₂ O ₅
T4	MAP*	50% da dose recomendada de P ₂ O ₅
T5	06.30.00 ¹	100% da dose recomendada de P ₂ O ₅
T6	06.30.00 ¹	75% da dose recomendada de P ₂ O ₅
T7	06.30.00 ¹	50% da dose recomendada de P ₂ O ₅
T8	VIT02B1 ^{1;2}	100% da dose recomendada de P ₂ O ₅
T9	VIT02B1 ^{1;2}	75% da dose recomendada de P ₂ O ₅
T10	VIT02B1 ^{1;2}	50% da dose recomendada de P ₂ O ₅

*Fosfato monoamônico.

¹Organomineral com 70% da dose do mineral.

²Organomineral 06.30.00 enriquecido como isolado B1.

Fonte: a autora.

O solo utilizado para preenchimento dos vasos foi retirado de região do Cerrado com histórico de agricultura, alto teor de P total e baixo nível de P disponível, conforme análise química realizada (figura 1). Dessa forma, para caracterização das doses, considerou-se a necessidade de 120 kg.ha¹ de P₂O₅ de acordo com a recomendação de RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999 para solos com baixo teor de fósforo.

Figura 1 - Análise química do solo utilizado.

pH H ₂ O	pH CaCl ₂	pH KCl	C.E.	P meh.	P rem.	P res.	P total	Na ⁺	K ⁺	S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
1 : 2,5			μs.cm ⁻¹	mg dm ⁻³						cmolc dm ⁻³					
5,8	5,4	ns	ns	3,4	ns	ns	173	ns	55	ns	0,14	2,50	1,63	0,00	1,80

SB	t	T	V	m	Relação entre bases:				Relação entre bases e T (%):						
cmolc dm ⁻³			%		Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/T	Mg/T	Na/T	K/T	H+Al/T	Ca+Mg/T	Ca+Mg+Na+K/T
4,26	4,26	6,06	70	0	1,50	17,8	11,6	29,5	41	27	ns	2	30	68	70

Fonte: LABRAS.

A adubação para correção dos teores de N e K foi realizada de acordo com os valores recomendados para a cultura do milho (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). Para os demais nutrientes, a correção foi realizada de acordo com as recomendações para ensaios em ambiente controlado, conforme Tabela 2 (NOVAIS; NEVES; BARROS, 1991). Para determinação das doses de fertilizantes, utilizou-se as metodologias acima como parâmetros, considerando o volume de solo dos vasos. Os fertilizantes foram homogeneizados na massa total de solo do vaso.

Tabela 2 - Balanceamento de N, K e demais nutrientes.

Nutriente	Conc. (mg/nutr./kg solo)	Fonte
N	75,0 ¹	NH ₄ HCO ₃
K	33,2 ¹	KCl
S	40,0 ²	Na ₂ SO ₄
B	0,81 ²	H ₃ BO ₃
Cu	1,33 ²	CuSO ₄ .5H ₂ O
Fe	1,55 ²	FeCl ₂ .6H ₂ O
Mn	3,66 ²	MnCl ₂ .4H ₂ O
Mo	0,15 ²	NaMoO ₄ .H ₂ O
Zn	4,0 ²	ZnSO ₄ .7H ₂ O

Fonte: ¹ RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999; ² NOVAIS; NEVES; BARROS, 1991.

O experimento foi instalado dia 13/05/2022, com semeadura de 2 sementes por vaso da cultivar híbrida B2782PWU, conforme figura 2. Os vasos foram irrigados diariamente e o controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual durante todo o período avaliado. Após a emergência, as plântulas foram desbastadas para prevalecer apenas uma por vaso. Foi

necessária aplicação de inseticida diflubenzurom no dia 08/06/2022, de acordo com as recomendações da bula, visando o controle da lagarta-do-cartucho. O experimento foi conduzido até o dia 10/07/2022, contabilizando 58 dias.

Figura 2 - Experimento montado.



Fonte: a autora.

Durante o experimento foi avaliado a altura das plantas semanalmente, considerando a medida da superfície do solo até a altura do último colar visível com auxílio de régua (Figura 3).

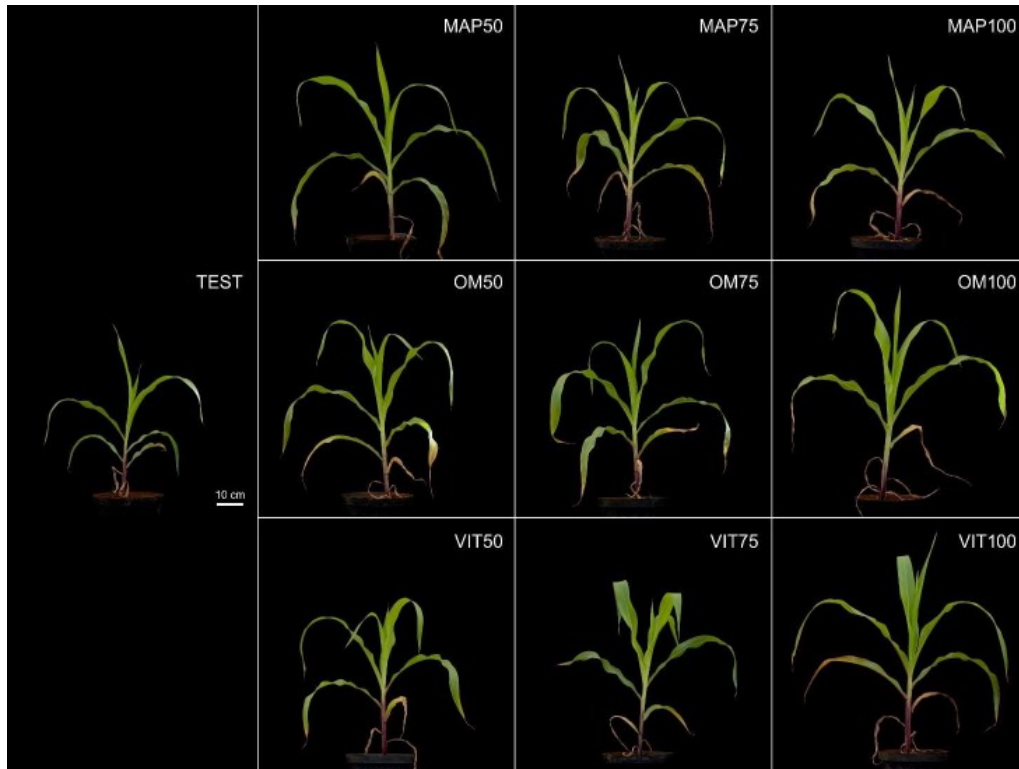
Figura 3 - Medição de altura de plantas.



Fonte: a autora.

Além disso, ao final do experimento realizou-se registros fotográficos para melhor visualização do desempenho dos tratamentos, conforme figura 4.

Figura 4 - Desempenho dos tratamentos aos 58 dias após semeadura.



*Para cada tratamento foi selecionada uma planta com características representativas da maioria das repetições.

Fonte: a autora.

Após a finalização do experimento, realizou-se análise de massa seca de parte aérea, onde as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de ar forçado por 70 °C durante 72 h. Após esse período, as amostras foram pesadas para quantificação de massa seca foliar (Figura 5), sendo 3 folhas de cada tratamento encaminhadas para laboratório credenciado para análise nutricional do tecido vegetal. Além disso, realizou-se análise de massa seca radicular, para a qual repetiu-se o mesmo processo citado anteriormente, utilizando toda a massa radicular, previamente separada do solo manualmente.

Figura 5 - Quantificação de massa seca de parte aérea.



Fonte: a autora.

Os solos dos vasos foram coletados, homogeneizados e separados em duas amostras: uma encaminhada para laboratório certificado para análise química e outra armazenada sob refrigeração em geladeira para análise microbiológica.

As análises microbiológicas consistiram na determinação da atividade enzimática de β -glicosidase e fosfatase ácida a partir de metodologia descrita por TABATABAI, 1994. Além disso, foi realizado contagem de colônias de bactérias solubilizadoras de P em meio NBRIP segundo metodologia de NAUTIYAL, 1999, que consistiu na preparação de meio ágar NBRIP composto por:

Tabela 1 - Composição do meio ágar NBRIP

Quantidade	Unid	Reagente
10	g	Glicose
5	g	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
5	g	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
0,25	g	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
0,20	g	KCl
0,10	g	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

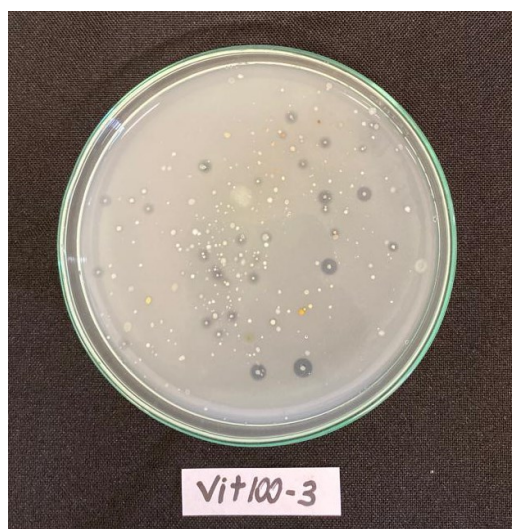
15	g	Ágar
1000	mL	Água destilada
pH 7,0		

Fonte: NAUTIYAL, 1999.

Para a contagem de bactérias solubilizadoras, após o preparo do meio NBRIP, o mesmo foi vertido em placas de Petri esterilizadas em autoclave. Para o isolamento dos microrganismos, utilizou-se 1 g de solo diluído em 9 mL de solução salina estéril, composta de 8,5 g de NaCl diluída em 1000 mL de água destilada. A solução de solo + solução salina foi homogeneizada com o auxílio de um Vortex, caracterizando a diluição de 10^{-1} . Após isso, utilizou-se 0,9 mL de solução salina esterilizada em eppendorf para 0,1 mL de solução à 10^{-1} , caracterizando a solução a 10^{-2} . O mesmo processo foi realizado, caracterizando a diluição 10^{-3} . Com auxílio de micropipeta, transferiu-se 0,1 mL das soluções 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} , para as placas de Petri com o meio. As placas de Petri foram incubadas sob temperatura de 25 °C, durante 7 dias até a formação de halos de solubilização visíveis (Figura 6). Após isso, o número de colônias foi quantificado manualmente e submetido à fórmula para cálculo do número de colônias solubilizadoras de fósforo por grama de solo:

$$\text{UFC/g} = \frac{NC \times FD}{Val \times ms}$$

Figura 6: Visualização dos halos de bactérias solubilizadoras de fósforo.



Fonte: a autora.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA, $p < 0,05$) e as médias foram diferenciadas pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

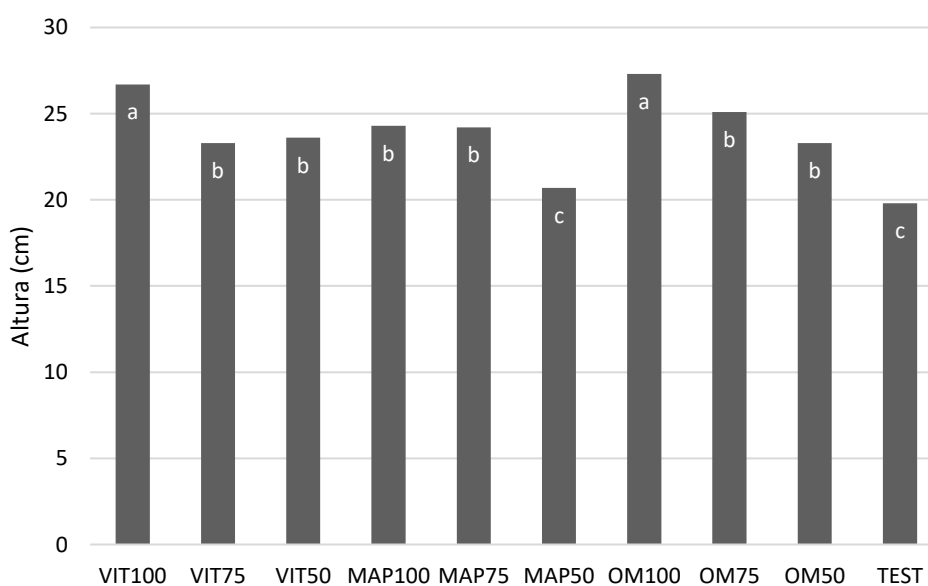
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS VEGETATIVOS

5.1.1 Altura de plantas

A partir da avaliação da altura final das plantas (Gráfico 1), constatou-se que os tratamentos OM100 (fertilizante organomineral tradicional 06.30.00 com 100% da dose de P₂O₅) e VIT100 (100% da dose de P₂O₅ do organomineral enriquecido com isolados de *Bacillus* sp.), obtiveram médias superiores que os demais tratamentos (27,3 cm e 26,7 cm, respectivamente), não sendo diferentes entre si ($p > 0,05$). Assim, a presença do isolado de *Bacillus* sp. na formulação do fertilizante não influencia em seu desempenho vegetativo. Apenas o tratamento MAP50 obteve resultado igual à testemunha (20,7 cm e 19,8 cm, respectivamente), representando o tratamento com menor eficiência.

Gráfico 1 - Altura final de plantas de milho em função de diferentes tratamentos.



*Tratamentos com mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: a autora.

Além disso, a partir da avaliação da altura de plantas foi possível verificar a tendência entre os tratamentos de diminuição progressiva de altura de plantas correlacionada com a diminuição da dose de P₂O₅ aplicada, evidenciado em todos os tratamentos avaliados.

Para as classes de tratamentos avaliadas, os fertilizantes organominerais enriquecidos com *Bacillus* sp. e organomineral convencional apresentaram diferenças significativas apenas na dose de 100% em comparação com as demais ($p < 0,05$), não havendo diferença entre as doses de 75% e 50% ($p > 0,05$). Já para MAP, não houve diferença entre as doses de 100% e 75% ($p > 0,05$), havendo diferença apenas para a dose de 50% ($p < 0,05$), a qual não diferiu da testemunha.

Com isso, é possível observar que fertilizantes organominerais garantem melhor desenvolvimento vegetativo da cultura do milho se comparados com solos não adubados e/ou adubados com fertilizante mineral MAP. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al., 2020, os quais avaliaram altura de plantas de milho 92 dias após semeadura sob adubação mineral e organomineral, onde as plantas adubadas com organomineral 02-15-05, obtiveram maior altura, seguida da adubação mineral e do controle (sem adubação), respectivamente.

5.1.2 Avaliação de massa seca foliar e radicular

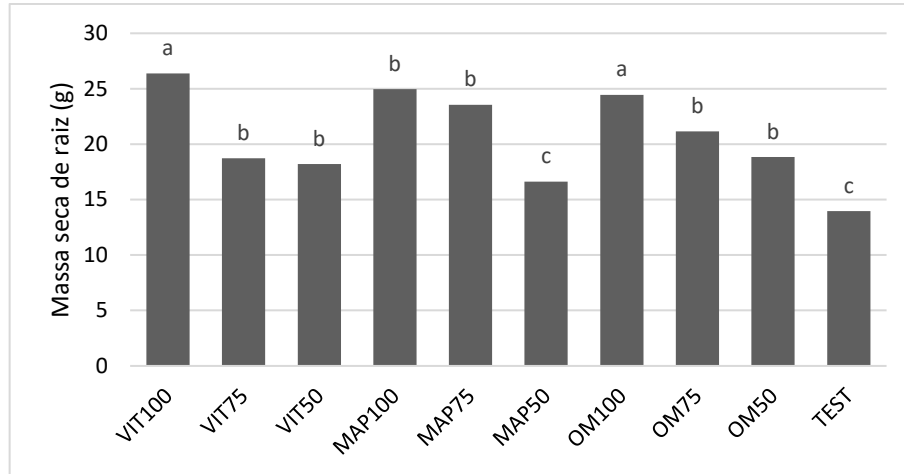
A partir dos dados obtidos de massa seca de raízes e de parte aérea, foi possível validar novamente que os tratamentos com 100% da dose de organomineral 06.30.00 obtiveram melhores médias em comparação com os demais tratamentos, não havendo diferença entre o organomineral tradicional e o enriquecido com *Bacillus* sp. ($p > 0,05$). Estudos realizados por Tiritan et al., 2010, comprovam que o uso de fertilizantes organominerais aumentam a quantidade de fitomassa seca de parte aérea e radicular da cultura do milho em comparação com a testemunha e fonte mineral de fósforo aos 57 dias de avaliação, alcançando 51,7% de diferença na massa seca de parte aérea e 62% na massa seca radicular nos tratamentos com organomineral.

Essa diferença entre fertilizantes minerais e organominerais deve-se principalmente ao fato de que, por se tratar de uma fonte de fósforo que combina matriz mineral + orgânica (no caso do organomineral avaliado, a fonte mineral trata-se de MAP + matriz orgânica de esterco + torta vegetal + palha de café), o organomineral sofre menores perdas durante o ciclo da cultura, além de sua disponibilização gradual de nutrientes de acordo com a umidade do solo.

A partir dos gráficos 2 e 3 é possível observar que o comportamento da massa de raízes e da parte aérea são proporcionais, seguindo padrões de comportamento. Em condições de baixa disponibilidade de P, ocorre concentração de fotoassimilados para desenvolvimento radicular a fim de suprir a demanda nutricional inicial do período vegetativo, que se inicia com o

desenvolvimento de raízes em quantidade e profundidade (Tiritan et al., 2010). Tal fato fica evidenciado pela baixa quantidade de raízes no tratamento testemunha, que não recebeu dose de fósforo.

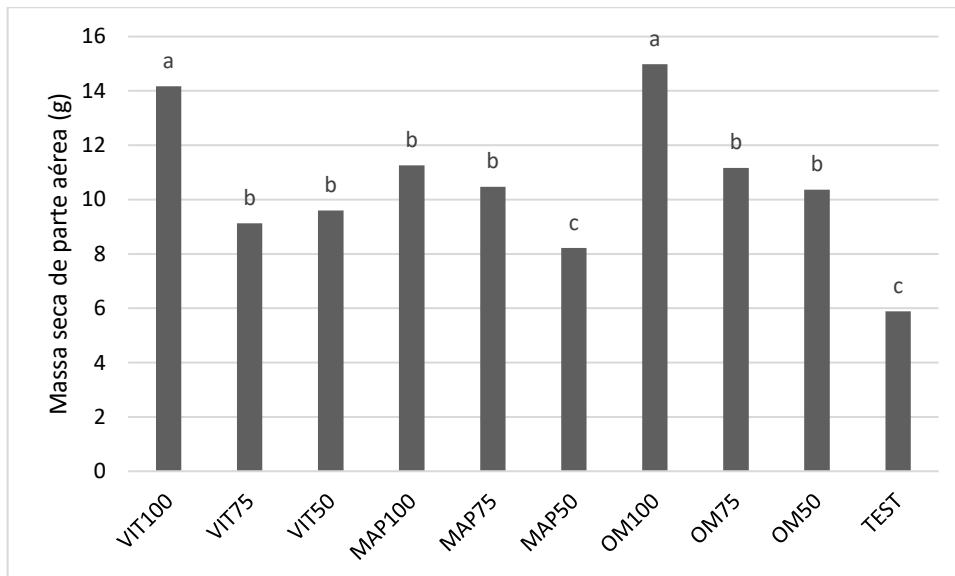
Gráfico 2 - Massa seca de raiz em função de diferentes tratamentos.



*Tratamentos com mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: a autora.

Gráfico 3 - Massa seca de parte aérea em função de diferentes tratamentos.



*Tratamentos com mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: a autora.

5.2 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL

5.2.1 Fósforo no tecido vegetal

A partir da quantificação do fósforo em tecido vegetal, foi possível verificar que os tratamentos MAP100, MAP75, OM100, OM75, OM50 e VIT100 apresentaram maior concentração de fósforo foliar que os demais tratamentos, não sendo diferentes estatisticamente entre si ($p > 0,05$). Esses resultados demonstram a equivalência do organomineral ao MAP no suprimento de fósforo para a cultura do milho, uma vez que não apresentam diferença estatística entre si ($p > 0,05$). Estudos realizados por Lana et al., 2014, também verificaram a inexistência de diferenças do teor foliar de P em plantas de milho semeadas com organomineral e fonte mineral MAP.

Tabela 4 - Teores médios de fósforo foliar em função de diferentes tratamentos.

Tratamento	Teor de P (g kg⁻¹)
MAP100	0,92 a
MAP75	0,80 a
MAP50	0,86 b
OM100	0,82 a
OM75	0,86 a
OM50	0,94 a
VIT100	0,80 a
VIT75	0,84 b
VIT50	0,70 b
TEST	0,72 b

*Tratamentos com mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: a autora.

5.2.2 Teor de fósforo no solo

Ao final do período de cultivo, as amostras de solo de tratamentos com o organomineral convencional apresentaram maior teor de fósforo disponível em comparação com a testemunha

($p < 0,05$), no entanto, não diferiu significativamente do tratamento MAP ($p > 0,05$) conforme tabela 4. Já o organomineral com isolado de *Bacillus* sp., apresentou resultado significativamente igual à testemunha e inferior ao MAP, sendo provável que o P possa ter sido imobilizado na biomassa microbiana durante o período avaliado, podendo ser posteriormente ciclado e disponibilizado na solução do solo.

Estudos conduzidos *in vitro* por Jones et al., 2003, demonstraram que os microrganismos solubilizadores de fósforo necessitam de uma grande quantidade de Carbono Orgânico para sua manutenção, sendo um grande limitante na via oxidativa do açúcar (fermentação e respiração), caracterizando menor produção de ânions orgânicos como o ácido glucônico, ácido cítrico, ácido oxálico, que são responsáveis pela acidificação do meio, gerando a menor liberação fosfatos complexados. Tal fato demonstra que a solubilização do P pelos microrganismos é apenas um resultado indireto de suas atividades metabólicas.

Tabela 4 - Teores médios de fósforo do solo em função de diferentes tratamentos.

Tratamento	P disp*
	mg dm ⁻³
TEST	0,74 b
MAP100	1,48 a
MAP75	1,36 a
MAP50	1,06 b
OM100	1,82 a
OM75	1,26 a
OM50	1,73 a
VIT100	1,13 b
VIT75	0,98 b
VIT50	0,74 b

*P disponível extraído com Mehlich⁻¹

**Tratamentos com mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: a autora.

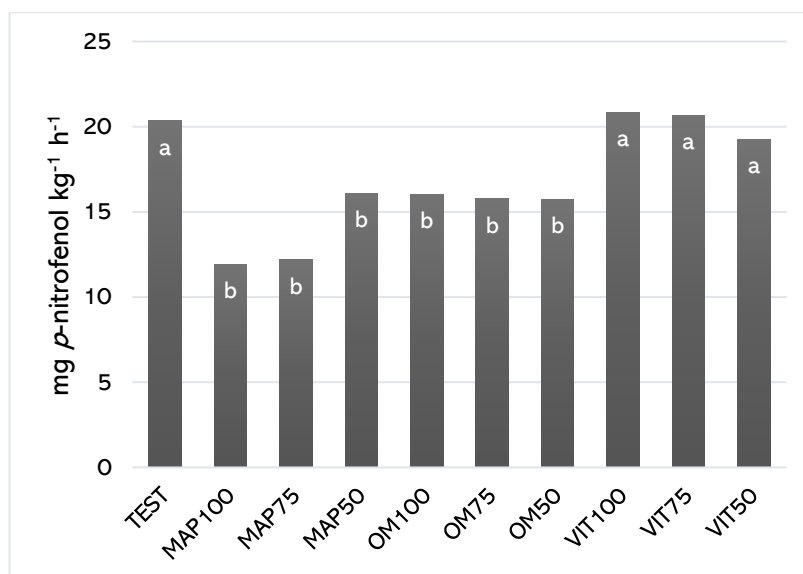
5.3 ATIVIDADE MICROBIANA

5.3.1 Atividade enzimática

A β -glicosidase é a enzima catalisadora das reações de hidrólise da maltose e celobiose (fontes de energia para microrganismos do solo) (TABATABAI, 1994), sendo um preciso indicador de qualidade de solo e sustentabilidade de ecossistemas (Schloter et al., 2018). A partir das análises foi possível verificar maior atividade enzimática nos tratamentos com organomineral enriquecido com *Bacillus* sp. (VIT100, VIT75 e VIT50) e na testemunha negativa, não havendo diferença significativa entre si ($p < 0,05$). Já em comparação com os demais tratamentos, é possível inferir que a utilização de organomineral + *Bacillus* sp. mitiga os problemas de redução da atividade microbiológica, ocasionada pelos manejos de adubação convencionais, conforme evidenciado no gráfico 4.

Estudos realizados por Paiva et al., 2020; Sousa et al., 2021, corroboraram para a conclusão de que a inoculação de microrganismos solubilizadores é mais eficaz na presença de fertilizantes. Além disso, estudos realizados por Silva 2018, demonstraram que a atividade enzimática aumentou em cana-de-açúcar após um ano de inoculação com MSF e adubação com organominerais.

Gráfico 4 - Atividade da enzima β -glicosidase em solo cultivado com milho adubado com diferentes fontes de P.



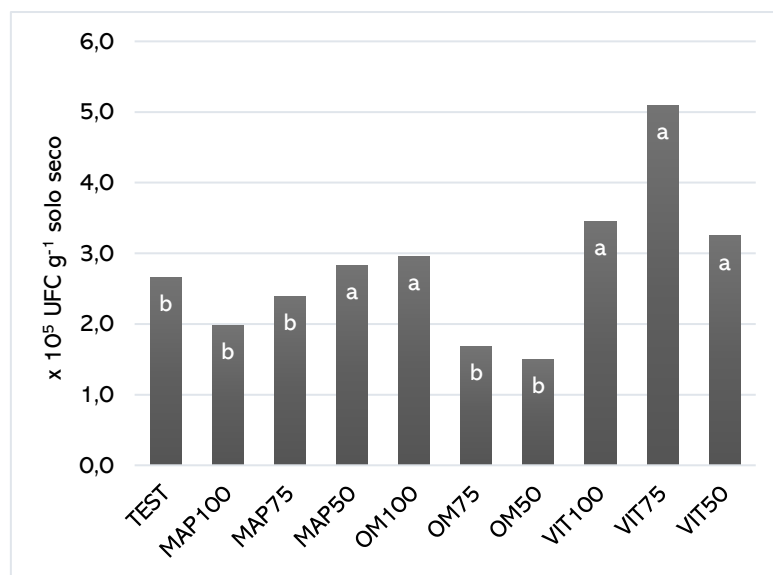
**Tratamentos com mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: a autora.

5.3.2 Contagem bacteriana

Após contagem das colônias de bactérias solubilizadoras de fósforo, foi possível observar que cultivos utilizando organomineral enriquecido com *Bacillus* sp. Em todas as doses testadas proporcionaram o enriquecimento da biota do solo, havendo igualdade significativa com o tratamento MAP50 e OM100 ($p < 0,05$). Além disso, no tratamento MAP, constatou-se o decréscimo progressivo na quantidade de colônias quando aumentada a dose do fertilizante.

Gráfico 5 - Contagem de colônias de bactérias solubilizadoras de fósforo.



*Tratamentos com mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: a autora.

6 CONCLUSÃO

A utilização de organomineral convencional e enriquecido com isolado de *Bacillus* sp. em comparação com a fonte mineral MAP e testemunha, proporcionou maiores rendimentos vegetativos de altura, massa seca de raiz e parte aérea nas doses de 100%.

A adubação com MAP, organomineral convencional ou organomineral enriquecido com *Bacillus* sp. na dose de 100% de P não resulta em alteração no acúmulo de fósforo no tecido vegetal.

Para teores de P disponível no solo, os tratamentos MAP100, MAP75, OM100, OM75 e OM50 não apresentaram diferenças significativas, sendo o tratamento com organomineral ineficiente para aumentar os teores de fósforo disponível no solo aos 58 dias de ciclo da cultura.

O organomineral enriquecido com *Bacillus* sp. e a testemunha apresentaram maior atividade enzimática da β -glicosidase, favorecendo o desenvolvimento da biota do solo. Já para a contagem bacteriana, os tratamentos de MAP50, VIT100 e VIT75 apresentaram melhores resultados, sendo o organomineral enriquecido na dose de 75% responsável pelo maior incremento de bactérias no solo.

Diante do exposto, a partir dos resultados de: parâmetros vegetativos da cultura do milho, disponibilidade de fósforo no solo-planta, características microbiológicas e sustentabilidade ecológica, o fertilizante organomineral enriquecido com *Bacillus* sp., apresenta uma alternativa viável para a produção de milho em solos de Cerrado, uma vez que apresenta bom desempenho produtivo no período vegetativo da cultura e grande capacidade de enriquecimento do solo com bactérias solubilizadoras de fósforo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. F. de *et al.* **Desempenho agrônômico e eficiência de utilização de fósforo por cultivares de milho.** 2019. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/3726/1/Ant%c3%b4nioFA_TESE.pdf. Acesso em: 5 jun. 2023.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 8, p. 1-8, 2 June 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.00971/full>. Acesso em: 5 jun. 2023.
- ALVES, G. S. *et al.* Fungal endophytes inoculation improves soil nutrient availability, arbuscular mycorrhizal colonization and common bean growth. **Rhizosphere**, [S. l.], v. 18, p. 1-10, June 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100330>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452219821000264>. Acesso em: 5 jun. 2023.
- ARAÚJO, V. C. *et al.* Enhanced growth in nursery of coffee seedlings inoculated with the rhizosphere fungus *Aspergillus niger* for field transplantation. **Rhizosphere**, [S. l.], v. 15, p. 1-4, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100236>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452219820301488>. Acesso em: 5 jun. 2023.
- ASEA, P. E. A.; KUCEY, R. M. N.; STEWART, J. W. B. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 459-464, 1988. Doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90058-2). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038071788900582>. Acesso em: 5 jun. 2023.
- AVALHAES, C. C. *et al.* Rendimento e crescimento da beterraba em função da adubação com fósforo. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 75-80, Jan./Feb. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v10i1.13173>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/13173/9885>. Acesso em: 5 jun. 2023.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho.** Évora: [s.n.], 2014. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/10804>. Acesso em: 5 jun. 2023.
- BENDER, R. R. *et al.* Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, [S. l.], v. 105, n. 1, p. 161-170, Jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2012.0352>. Acesso em: 5 jun. 2023.
- BITTENCOURT, V. C. *et al.* Torta de filtro enriquecida. **Revista Idea News**, Ribeirão Preto, v. 6, n. 63, p. 2-6, 2006.

CARMO, D. L. do *et al.* Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 196-206, abr./jun. 2014. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8028>. Acesso em: 5 jun. 2023.

CHEN, Y. P. *et al.* Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. **Applied soil ecology**, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 33-41, Nov. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139306000047>. Acesso em: 5 jun. 2023.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho – Circular técnica 78. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, p. 1-10, Dez. 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos: safra 2022/23: sexto levantamento** - março. Brasília, DF: Conab, 2023.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 1988 a 2010. **Informações Agrônomicas**, [S. l.], n. 135, p. 1–7, set. 2011.

LANA, M. do C. *et al.* Disponibilidade de fósforo para plantas de milho cultivadas com fertilizante organomineral e fosfato monoamônico. **Scientia Agraria Paranaensis**, Paraná, v. 13, n. 3, p. 198-209, 2014. DOI: <https://doi.org/10.18188/sap.v13i3.7659>. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/7659>. Acesso em: 5 jun. 2023.

ETESAMI, H.; MAHESHWARI, D. K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. **Ecotoxicology and environmental safety**, [S. l.], v. 156, p. 225-246, Jul. 2018. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2018.03.013](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29554608/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

GARCIA, J. C. *et al.* Aspectos econômicos da produção e utilização do milho – Circular técnica 74. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, p. 1-12, Dez. 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19618/1/Circ_74.pdf. Acesso em: 5 jun. 2023.

GOMES, E. A. *et al.* Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista brasileira de Milho e Sorgo**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 69-81, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/991801/rock-phosphate-solubilizing-microorganisms-isolated-from-maize-rhizosphere-soil>. Acesso em: 5 jun. 2023.

GONDIM, A. R. de O. *et al.* Crescimento inicial do milho cultivar brs 1030 sob omissão de nutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, [S. l.], v. 63, n. 5, p. 706-714, set./out. 2016. DOI: [10.1590/0034-737X201663050016](https://doi.org/10.1590/0034-737X201663050016). Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153288/1/2016-Revista-Ceres.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

JAIN, R.; SAXENA, J.; SHARMA, V. The evaluation of free and encapsulated *Aspergillus awamori* for phosphate solubilization in fermentation and soil-plant system. **Applied Soil Ecology**, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 90–94, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.06.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139310001101>. Acesso em: 5 jun. 2023.

JONES, D. L. *et al.* Organic acid behavior in soils—misconceptions and knowledge gaps. **Plant and soil**, [S. l.], v. 248, p. 31-41, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022304332313>. Acesso em: 5 jun. 2023.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 2019, p. 1-7, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>. Disponível em: <https://downloads.hindawi.com/journals/ija/2019/4917256.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

LANGHANS, C. *et al.* Phosphorus for sustainable development goal target of doubling smallholder productivity. **Nature Sustainability**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 57-63, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41893-021-00794-4>. Acesso em: 5 jun. 2023.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S. Matéria orgânica do solo: funções interações e manejo em solo tropical. In: ARAÚJO, A. S. F. de *et al.* (ed.). **Matéria orgânica e organismos do solo**. Teresina: EDUFIP, p. 11-46, 2008.

MAHANTY, T. *et al.* Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 3315-3335, 2017. DOI: 10.1007/s11356-016-8104-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-8104-0>. Acesso em: 5 jun. 2023.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Sao Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MALUSÁ, E.; SAS-PASZT, L.; CIESIELSKA, JJTSWJ. Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. **The scientific world journal**, [S. l.], v. 2012, 2012. DOI: 10.1100/2012/491206. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3324119/>. Acesso em: 5 jun. 2023.

MENDES, G. O. *et al.* Optimization of *Aspergillus niger* rock phosphate solubilization in solid-state fermentation and use of the resulting product as a P fertilizer. **Microbial Biotechnology**, [S. l.], v. 8, n. 6, p. 930–939, Nov. 2015. DOI: 10.1111/1751-7915.12289. Disponível em: <https://ami-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1751-7915.12289>. Acesso em: 5 jun. 2023.

MIRANDA, R. A. de *et al.* Sustentabilidade da cadeia produtiva do milho – Documentos 261. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, p. 1-28, maio 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223515/1/Doc-261.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

MITTAL, V. *et al.* Stimulatory effect of phosphate-solubilizing fungal strains (*Aspergillus awamori* and *Penicillium citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2). **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 718–727, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.10.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071707004178>. Acesso em: 5 jun. 2023.

MUNDIM, G. de S. M.; MACIEL, G. M.; MENDES, G. de O. *Aspergillus niger* as a biological input for improving vegetable seedling production. **Microorganisms**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 1-12, 2022. DOI: 10.3390/microorganisms10040674. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/4/674>. Acesso em: 5 jun. 2023.

NADEEM, S. M. *et al.* Plant–microbe interactions for sustainable agriculture: fundamentals and recent advances. In: ARORA, N. K. (ed.). **Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances**. 2013. p. 51-103. *E-book*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-1287-4_2. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-1287-4_2. Acesso em: 5 jun. 2023.

NASCIMENTO, J. M. DO *et al.* *Aspergillus niger* as a key to unlock fixed phosphorus in highly weathered soils. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 156, p. 1-9, May 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108190>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071721000626>. Acesso em: 5 jun. 2023.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. *et al.* (ed.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa, 1991. p. 189–254.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Editora UFV, 1999.

OLANREWaju, O. S.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [S. l.], v. 33, n. 197, p. 1-16, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-017-2364-9>. Acesso em: 5 jun. 2023.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. *et al.* Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja. In: MEYER, M. C. *et al.* **Bioinsumos na cultura da soja**, Brasília, DF: Embrapa, 2022. p. 163-179. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1143389/1/Microrganismos-solubilizadores-de-fosforo-e-potassio-na-soja.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

PAES, Maria Cristina Dias. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. 2006.

PAIVA, C. A. O. *et al.* Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. **Circular Técnica Embrapa**, 2020.

PANDEY, A. *et al.* Plant growth-promoting microorganisms in sustainable agriculture. *In: Role of plant growth promoting microorganisms in sustainable agriculture and nanotechnology*. Sawston: Woodhead Publishing, 2019. p. 1-19.

PAVINATO, P. S. *et al.* Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 15615, 28 dez. 2020.

PEREIRA, B. de O. H.; DINIZ, D. A.; REZENDE, C. F. A. Adubação organomineral e mineral no desempenho agrônômico do milho e alterações químicas do solo. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 8, p. 58694-58706, 2020.

PÉREZ-JARAMILLO, J. E.; MENDES, R.; RAAIJMAKERS, J. M. Impact of plant domestication on rhizosphere microbiome assembly and functions. **Plant molecular biology**, [S. l.], v. 90, p. 635-644, 2016.

QIU, Z. *et al.* New frontiers in agriculture productivity: Optimised microbial inoculants and in situ microbiome engineering. **Biotechnology advances**, [S. l.], v. 37, n. 6, p. 107371, 2019.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. 5. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 1999.

RIBEIRO, V. P. *et al.* Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. **brazilian journal of microbiology**, [S. l.], v. 49, p. 40-46, 2018.

ROSSI, A.C. M. *et al.* Distribuição vertical de fósforo no solo proveniente do superfosfato triplo. **Research Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, 2020.

ROY, E. D. *et al.* The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, [S. l.], v. 2, n. 5, p. 16043, 2016.

SCHLOTTER, M. *et al.* Microbial indicators for soil quality. **Biology and Fertility of Soils**, [S. l.], v. 54, p. 1-10, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-017-1248-3>. Acesso em: 05 jun. 2023.

SHARMA, S. B. *et al.* Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **SpringerPlus**, [S. l.], v. 2, n. 587, p. 1-14, 2013. Disponível em: <https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/2193-1801-2-587>. Acesso em: 05 jun. 2023.

SILVA, P. V. *et al.* Field evaluation of the effect of *Aspergillus niger* on lettuce growth using conventional measurements and a high-throughput phenotyping method based on aerial images. **Plos one**, [S. l.], v. 17, n. 9, p. 1-14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274731>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.027473>. Acesso em: 05 jun. 2023.

SOLOGUREN, L.; CAIXETA-FILHO, J. V.; NUSSIO, L. G. Milho: Brasil amplia cultivo para atender demanda crescente. **Visão Agrícola**, [S. l.], v. 13, ano 9, 2015.

SOUSA, S. M. de *et al.* Tropical Bacillus strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S. l.], v. 40, n. 2, p. 867-877, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-020-10146-9>. Acesso em: 5 jun. 2023.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. **Methods of soil analysis: part 2 microbiological and biochemical properties**. 775-833, 1994. v. 5.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 301–307, 1969.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.

TIRITAN, C. S. *et al.* Adubação fosfatada mineral e organomineral na cultura do milho. In: **Colloquium Agrariae**. 2010. p. 8-14.

TOJU, H. *et al.* Core microbiomes for sustainable agroecosystems. **Nature plants**, [S. l.], v. 4, n. 5, p. 247-257, 2018.

TRIVEDI, P. *et al.* Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. **Nature reviews microbiology**, [S. l.], v. 18, n. 11, p. 607-621, 2020.

VASSILEV, N. *et al.* Phosphate sources, microorganisms, and P plant nutrition: challenges and future trends. **Archives of Crop Science**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 61–63, 23 out. 2019.

VASSILEVA, M. *et al.* Towards better understanding of the interactions and efficient application of plant beneficial prebiotics, probiotics, postbiotics and synbiotics. **Frontiers in plant science**, [S. l.], v. 11, p. 1068, 2020.

WANG, W. *et al.* Screening, identification and growth promotion ability of phosphate solubilizing bacteria from soybean rhizosphere under maize-soybean intercropping systems. **bioRxiv**, [S. l.], 2020.

WITHERS, P. J. A. *et al.* Greening the global phosphorus cycle: how green chemistry can help achieve planetary P sustainability. **Green Chemistry**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 2087–2099, 2015.

WITHERS, P. J. A. *et al.* Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 1–13, 2018.