

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE AGRONOMIA

MOZART FANTINI DUTRA TEIXEIRA

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO INOCULADO COM
SOLUBILIZADORES DE FOSFATO NO CULTIVO DO MILHO COM RESIDUAL
DE FÓSFORO**

CHAPADÃO DO SUL, MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE AGRONOMIA

MOZART FANTINI DUTRA TEIXEIRA

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO INOCULADO COM
SOLUBILIZADORES DE FOSFATO NO CULTIVO DO MILHO COM RESIDUAL
DE FÓSFORO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro

CHAPADÃO DO SUL-MS

2023



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **MOZART FANTINI DUTRA TEIXEIRA.**

ORIENTADORA: **Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpusde Chapadão do Sul.

Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro
Presidente da Banca Examinadora e Orientadora

Profa. Dra. Rita de Cássia Félix Alvarez
Membro da Banca Examinadora

Bióloga MSc. Andressa Silva Rodrigues
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 22 de novembro de 2023.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 22/11/2023, às 14:07, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Andressa Silva Rodrigues, Técnico de Laboratório Area**, em 22/11/2023, às 14:37, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **Rita de Cássia Félix Alvarez, Professora do Magistério Superior**, em 22/11/2023, às 14:57, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o códigoverificador **4474560** e o código CRC **5E05C350**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por me conceder saúde, sabedoria e força em cada momento da minha vida.

Ao meu pai, Milton Dutra Teixeira Junior, e à minha mãe, Mônica Fantini, que me incentivaram constantemente a concluir esta jornada. Expresso minha gratidão a toda a minha família, que sempre me apoiou, oferecendo orientação e auxílio em todos os momentos.

Aos amigos que fiz ao longo da minha jornada acadêmica, sempre prontos a me auxiliar, seja compartilhando conhecimento, oferecendo conselhos ou compartilhando experiências.

À minha orientadora, Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, expresso minha profunda gratidão. Sua disposição constante em auxiliar durante a realização deste trabalho foi fundamental para a conclusão desta etapa.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul por todo o conhecimento compartilhado e aprendido ao longo da minha trajetória. Também me proporcionou a oportunidade de conhecer e aprender com os professores que tive a honra de conhecer, trocando experiências valiosas ao longo do meu percurso acadêmico.

SUMÁRIO

RESUMO:	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO	9
MATERIAL E MÉTODOS	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO INOCULADO COM SOLUBILIZADORES DE FOSFATO NO CULTIVO DO MILHO COM RESIDUAL DE FÓSFORO

RESUMO: Diante da elevada demanda por fertilizantes fosfatados na cultura do milho, é essencial investigar opções de utilização e fontes alternativas, além de considerar a aplicação de inoculantes solubilizadores de fosfato. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os atributos microbiológicos e a produtividade da cultura do milho mediante a inoculação e coinoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato em uma área com resíduo de fósforo. O experimento foi realizado na área experimental da UFMS, empregando um delineamento em blocos casualizados em um esquema fatorial 2 x 4. A pesquisa foi conduzida em uma área com resíduo de duas fontes de fósforo: superfosfato triplo e pó de rocha. Foram aplicados quatro tratamentos de semente: sem inoculação, *Azospirillum brasilense*, consórcio de bactérias do gênero *Bacillus* e coinoculação. Foram avaliadas as variáveis respiração microbiana do solo (RMS), carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), quociente metabólico (qCO_2), produtividade (PROD) e fósforo foliar (FOSF). O fósforo foliar não foi influenciado pelos tratamentos e suas interações. A variável carbono da biomassa microbiana foi influenciada positivamente em solo com resíduo de superfosfato triplo com inoculação e coinoculação dos solubilizadores de fosfato. A respiração microbiana do solo foi mais intensa nos tratamentos com inoculação de bactérias do gênero *Bacillus* no solo com resíduo de pó de rocha. As inoculações com *Azospirillum*, com o consórcio de bactérias do gênero *Bacillus* e a coinoculação favoreceram o quociente metabólico. O efeito residual da fonte superfosfato triplo foi observado na produtividade do milho quando inoculado com *Azospirillum* e com o consórcio de bactérias do gênero *Bacillus*.

PALAVRAS- CHAVES: promotores de crescimento, rochagem, inoculação

ABSTRACT: Given the high demand for phosphate fertilizers in maize cultivation, it is essential to investigate options for use and alternative sources, as well as considering the application of phosphate-solubilizing inoculants. Thus, the objective of this research was to evaluate the microbiological attributes and productivity of the corn crop through inoculation and co-inoculation of phosphate-solubilizing microorganisms in an area with phosphorus residues. The experiment was carried out in the experimental area of UFMS, using a randomized block design in a 2 x 4 factorial scheme. The research was conducted in an area with residue from two sources of phosphorus: triple superphosphate and rock dust. Four seed treatments were applied: no inoculation, *Azospirillum brasilense*, a consortium of bacteria from the *Bacillus* genus and co-inoculation. The variables assessed were soil microbial respiration (SMR), soil microbial biomass carbon (MBC), metabolic quotient (qCO_2), productivity (PROD) and leaf phosphorus (FOSF). Foliar phosphorus was not influenced by the treatments and their interactions. The microbial biomass carbon variable was positively influenced in soil with triple superphosphate residual with inoculation and co-inoculation of phosphate solubilizers. Soil microbial respiration was more intense in treatments with inoculation of bacteria of the genus *Bacillus* in soil with residual rock dust. Inoculations with *Azospirillum*, a consortium of *Bacillus* bacteria and co-inoculation favored the metabolic quotient. The residual effect of the triple superphosphate source was observed in corn productivity when inoculated with *Azospirillum* and with the consortium of bacteria of the *Bacillus* genus.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays*) é a segunda maior cultura de grãos no Brasil, ficando atrás apenas da soja, e sua relevância é cada vez maior tanto nacional quanto internacionalmente, devido ao amplo consumo e versatilidade na indústria de alimentos (De Souza et al., 2018). Por ser uma cultura altamente energética, rica em carboidratos, ácidos graxos, fibras e vitaminas, para alcançar produções significativas de milho, é essencial empregar uma quantidade mínima de fertilizantes, de modo a satisfazer completamente as necessidades nutricionais da cultura. No entanto, para atender a essa demanda, torna-se necessário o uso de grandes quantidades de adubos (Figueiredo, 2012). Entre os nutrientes, o fósforo demanda aplicações constantes e em quantidades relativamente elevadas para assegurar a produtividade do milho, resultando em um aumento nos custos de produção.

A adubação fosfatada desempenha um papel crucial na agricultura brasileira, dada a natureza dos solos altamente intemperizados, ácidos e com baixa fertilidade natural que predominam no país (Embrapa, 2006). O fósforo, em particular, é um nutriente essencial que muitas vezes está complexado com óxidos de ferro, resultando em baixa disponibilidade para as plantas e afetando o crescimento e desenvolvimento das culturas, com destaque para o milho e a soja (Abreu, 2014). A deficiência de fósforo é um dos principais fatores que limitam a produtividade agrícola, levando a um consumo significativo de fertilizantes fosfatados (Santos et al., 2021). Embora a aplicação de fertilizantes fosfatados seja necessária para suprir as demandas das culturas, ela também resulta em custos de produção elevados, o que pode comprometer a sustentabilidade e a competitividade do agronegócio brasileiro (Rodrigues et al., 2015; CONAB, 2021).

Para atender às demandas nutricionais do milho, é fundamental garantir uma adequada oferta de fósforo no solo (Pinho et al., 2009). Como resultado, a pesquisa tem se concentrado em maximizar o uso de fontes de fósforo no solo e buscar alternativas sustentáveis para aumentar a produção (Amorim, 2022). Nesse contexto, o uso de pó de rocha surge como uma estratégia que visa reduzir a dependência de fertilizantes convencionais, fornecendo nutrientes de acordo com a composição da rocha da qual o pó é extraído, o que promove o enriquecimento mineral do solo e modifica sua fertilidade (Moraes, 2021). A característica marcante das rochas moídas é sua liberação lenta e controlada de nutrientes para as raízes das plantas, o que as torna uma alternativa em relação aos fertilizantes convencionais de rápida dissolução (Tebar et al., 2021).

O Brasil, que é um dos maiores importadores de fertilizantes químicos solúveis no mundo, tem explorado a introdução da utilização de rochas moídas na agricultura, conhecida como "rochagem", como uma alternativa aos fertilizantes químicos importados, visando tanto a redução de custos quanto a promoção da sustentabilidade dos agroecossistemas (Writzl et al., 2019). Porém, o manejo dessa fonte de nutriente carece de informações, especialmente quando combinado com outras tecnologias, como os inoculantes à base de microrganismos solubilizadores de fosfato.

A utilização de microrganismos na agricultura tem ganhado destaque como uma estratégia eficaz e sustentável para otimizar a disponibilidade de fósforo no solo e, conseqüentemente, sua absorção pelas plantas. Microrganismos solubilizadores desempenham um papel crucial nesse processo (Goldstein, 1986; Kim et al., 1998; Rodriguez e Fraga, 1999). Esses microrganismos estabelecem associações simbióticas com as raízes das plantas, promovendo um aumento na capacidade de absorção de água e nutrientes, com ênfase no fósforo (Moreira e Siqueira, 2002).

Outra alternativa é a coinoculação com outros microrganismos, que pode potencializar ainda mais os resultados na solubilização de nutrientes para a cultura do milho. A coinoculação envolve o uso de microrganismos diferentes, que, quando aplicados simultaneamente, produzem um efeito sinérgico em comparação com sua aplicação isolada (Flauzino et al., 2018). Dentre esses microrganismos, as bactérias pertencentes ao gênero *Azospirillum* se destacam, sendo utilizadas mundialmente como inoculantes em gramíneas (Braccini et al., 2016). São bactérias associativas capazes de promover o crescimento das plantas através da produção de hormônios de crescimento, indução de resistência a doenças e estresses ambientais, a capacidade de solubilizar fosfato e, também, de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos microbiológicos e a produtividade da cultura do milho com inoculação e coinoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato em área com residual de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nas instalações experimentais da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Chapadão do Sul – MS, com coordenadas geográficas 18°46'17,7"S e 52°37'27,7"W e altitude de 813 m.

O clima característico da região, de acordo com a classificação de Köppen, é classificado como tropical úmido (Aw). Este clima se caracteriza por uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno, com uma média anual de precipitação de 1.850 mm e variações na temperatura média anual entre 13°C e 28°C. Detalhes dos dados médios de precipitação e temperatura do ar, relativos ao período de realização do experimento, estão representados na Figura 1.

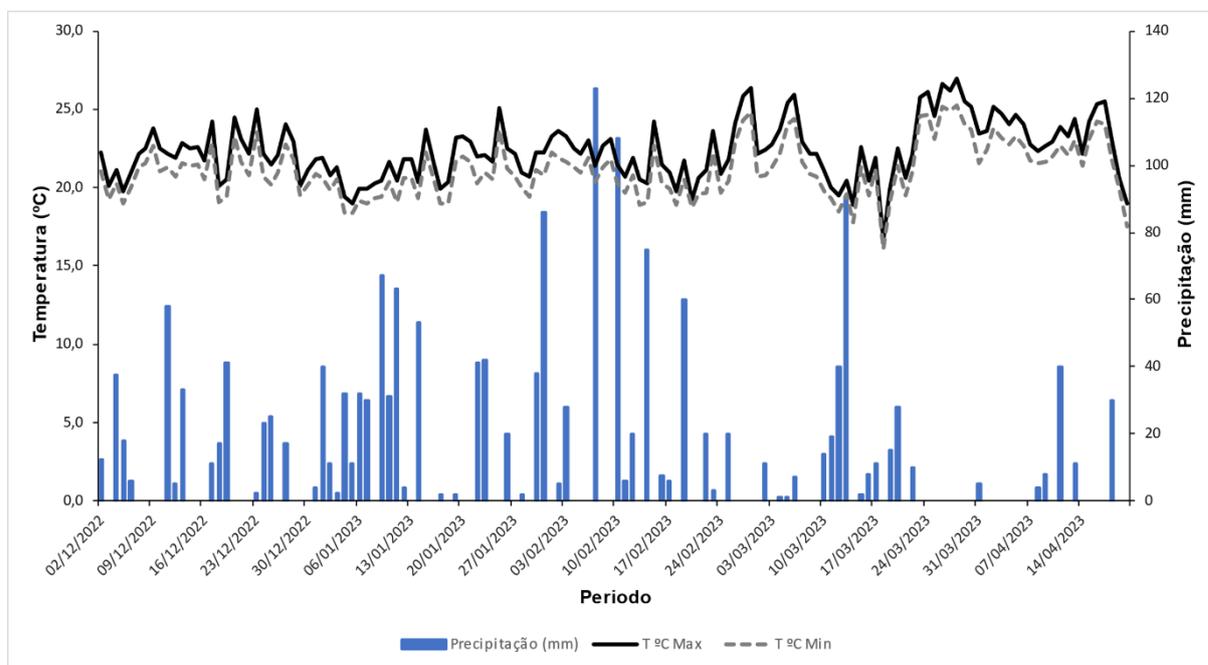


Figura 1. Dados climáticos mensais da precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima no município de Chapadão do Sul-MS, período da primeira safra 2022. Fonte: UFMS- Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Fonte: O autor.

Antes de iniciar o experimento, foi realizada uma coleta de amostras de solo na camada de 0-20 cm, a fim de avaliar suas características químicas (Raij et al., 2001). Os resultados da análise revelaram os seguintes valores: 31 mg dm⁻³ de P (resina); 27 g dm⁻³ de M.O.; 5,2 de pH (CaCl₂); 2,2 mmol_c dm⁻³ de K, 28 mmol_c dm⁻³ de Ca, 7 mmol_c dm⁻³ de Mg e 30 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 1,5 mg dm⁻³ de Cu, 35 mg dm⁻³ de Fe, 1,6 mg dm⁻³ de Mn, 2,5 mg dm⁻³ de Zn (DTPA); 0,31 mg dm⁻³ de B em água quente e 55% de saturação por bases, para o solo que continha

resíduos de aplicação de superfosfato triplo. E os valores: 31 mg dm⁻³ de P (resina); 23 g dm⁻³ de M.O.; 5,3 de pH (CaCl₂); 2,0 mmol_c dm⁻³ de K, 28 mmol_c dm⁻³ de Ca, 7 mmol_c dm⁻³ de Mg e 26 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 1,3 mg dm⁻³ de Cu, 32 mg dm⁻³ de Fe, 1,1 mg dm⁻³ de Mn, 2,2 mg dm⁻³ de Zn (DTPA); 0,31 mg dm⁻³ de B em água quente e 59% de saturação por bases, para o solo que havia resíduos de pó de rocha.

O experimento foi realizado em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, ou seja, residual de duas fontes de fósforo (superfosfato triplo e pó de rocha) e quatro tratamentos na semente: 1) sem inoculação; 2) inoculação com *Azospirillum brasilense*; 3) inoculação com consórcio de *Bacillus* (*Bacillus amyloliquafaciens*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis*) e 4) Coinoculação de *A. brasilense* e consórcio de *Bacillus*.

No que se refere às fontes de fosfato utilizadas na safra anterior, foram aplicados 100 kg de P₂O₅ por hectare, utilizando superfosfato triplo, de forma manual ao longo das fileiras de plantio, além de 2 toneladas de pó de rocha por hectare, distribuídas a lanço após a semeadura. Essas aplicações resultaram na presença de fosfato residual na área onde o estudo atual foi conduzido. Quanto aos tratamentos envolvendo *Azospirillum brasilense*, foi utilizado o Maxterfix Gramíneas, que continha as estirpes Abv5 e Abv6, com uma concentração de 2 x 10⁸ células viáveis por mL, sendo aplicado na dose de 100 mL por hectare. No caso do consórcio com *Bacillus*, utilizou-se o produto Profix, contendo as bactérias *B. amyloliquafaciens*, *B. licheniformis* e *B. subtilis*, com uma concentração total de 1,0 x 10¹⁰ esporos por mL. Esse produto foi aplicado na dosagem de 2 mL por 1 kg de sementes. Cada parcela consistia de oito fileiras, cada uma com um comprimento de 5 metros, com um espaçamento de 0,50 metros entre elas. A área efetiva do experimento foi definida a partir das três linhas centrais de cada parcela, enquanto as fileiras restantes foram desconsideradas.

A preparação da área experimental seguiu métodos convencionais, começando com uma gradagem pesada, seguida por uma gradagem leve. Uma segunda gradagem leve foi realizada com o objetivo de nivelar a área para o plantio e controlar a população de plantas daninhas. A semeadura foi realizada no dia 02 de dezembro de 2022, com densidade de 4 sementes por metro linear do híbrido SYN455 VIP3 da Syngenta.

Quanto à adubação de semeadura, foram aplicados 20 kg de nitrogênio (N) por hectare, usando ureia como fonte, e 60 kg de óxido de potássio (K₂O) por hectare, utilizando o cloreto de potássio como fonte. No que se refere à adubação fosfatada, levou-se em consideração

apenas o efeito residual do fósforo utilizado anteriormente. Já a adubação de cobertura envolveu a aplicação de 60 kg de nitrogênio (N) por hectare, utilizando ureia como fonte.

Para o controle de plantas daninhas, foi realizada aplicação de herbicida 15 dias após a emergência (DAE) e novamente 30 DAE. A área apresentava principalmente trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*), e foi feito o uso de Glifosato na dosagem de 2 litros por hectare para o controle, após 15 dias foi realizada capina manual para controle da população. Em relação às pragas, foi identificado percevejo barriga verde (*Dichelops furcatus*) e cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) e para o controle foi feita aplicação de Acefato 15 DAE e 30 DAE, dose de 1 Kg por hectare. Ao longo do ciclo da cultura, a doença conhecida como Mancha Branca (*Phaeosphaeria maydis*) se manifestou, sendo eficazmente controlada por meio de duas aplicações de fungicidas. Foram utilizados 2,0 kg por hectare do fungicida Unizeb e 250 ml por hectare do Orkestra. Todas as aplicações foram conduzidas com um pulverizador tratorizado, que proporcionou uma vazão de 180 litros por hectare.

Na etapa de florescimento da cultura do milho, procedeu-se à coleta de amostras de solo na camada de 0-15 cm. Uma amostra foi retirada da linha de plantio, enquanto a outra foi coletada na entrelinha, em diversos pontos da parcela. Essas amostras individuais foram então combinadas para formar uma amostra composta. As amostras foram armazenadas em geladeira (5°C) sendo realizadas as seguintes análises microbiológicas do solo: o teor de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), a taxa de respiração microbiana do solo (RMS) e o quociente metabólico (qCO_2).

A quantificação do teor de carbono na biomassa microbiana do solo (CBM) foi realizada por meio do método da fumigação-extração. Nesse método, após uma incubação de 24 horas, o solo foi submetido a uma extração com solução de K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹, seguida de oxidação com solução de $K_2Cr_2O_7$ 0,0667 mol L⁻¹ e, por fim, a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0333 mol L⁻¹.

A taxa de respiração microbiana do solo (RMS) foi determinada medindo a liberação de dióxido de carbono (CO₂) a partir de uma amostra de 10 g de solo ao longo de um período de dez dias. Após a coleta, o CO₂ foi extraído com uma solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e, posteriormente, titulado com uma solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ (Alef e Nannipieri, 1995).

O cálculo do quociente metabólico (qCO_2) foi realizado utilizando a seguinte equação: $qCO_2 = C-CO_2 / C-BM$ (Anderson et al., 1993), em que C- CO_2 representa a taxa de respiração basal do solo (em mg de C- CO_2 por kg) e C-BM é o teor de carbono na biomassa microbiana (em mg de CO_2 por kg).

Para a análise da produtividade em quilogramas por hectare ($kg\ há^{-1}$), foram selecionadas as três linhas centrais, colhidas manualmente, trilhadas e pesadas, apresentando um teor de umidade de 11,1% no dia 20 de abril de 2023 (139 DAE).

As análises estatísticas foram feitas através do programa SISVAR (Ferreira, 2019), com médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre o residual das fontes de fósforo e a inoculação no tratamento de sementes promoveu efeitos significativos para as variáveis CBM, RMS e PROD (Tabela 1). Para a variável quociente metabólico (qCO_2) foi verificado efeito apenas da fonte de variação inoculante. Para a variável fósforo foliar não foi verificado efeito de nenhum dos fatores estudados (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico (qCO_2), produtividade (PROD) e fósforo foliar (P. FOLIAR).

FV	GL	CBM	RMS	qCO_2	P.FOLIAR	PROD
Fósforo	1	9325,93 ^{ns}	47,14 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2213643,00*
Inoculante	3	15165,99*	745,41*	2,38*	0,25 ^{ns}	2344606,61*
Fósforo*inoculante	3	22854,55*	1647,74*	0,58 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1792423,05*
Bloco	3	3472,65	366,12	0,25	0,04	144960,05
Erro	37	5212,43	119,8	0,22	0,12	278878,39
CV (%)		16,59	10,42	18,81	18,29	9,60
Média		435,3	105,07	2,53	1,94	5502,33

ns: não significativo, *:significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Quanto à variável de fósforo foliar, não foram observados resultados significativos entre os diferentes tratamentos. Os níveis de fósforo identificados na análise ficaram dentro do recomendado para a cultura do milho, sendo que os valores adequados geralmente variam entre 1,8 e 3 g kg⁻¹, conforme indicado por Sousa e Lobato (2004). Esta situação pode ser explicada pelo efeito residual do fósforo deixado pela safra passada, que mesmo sem adubação fosfatada na semeadura os teores de F no solo estavam dentro do adequado.

O CBM foi influenciado pelo efeito residual do superfosfato triplo nos tratamentos com as inoculações e coinoculação na semente em relação ao tratamento sem inoculação (Tabela 2).

Tabela 2. Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM- µgC g⁻¹ solo seco) em função do residual de fontes de fósforo e inoculação no tratamento de sementes.

Inoculante	Fonte de Fósforo	
	PR	ST
Sem inoculação	439,7 Aa	333,2 Bb
<i>Azospirillum</i>	431,5 Aa	431 Aa
<i>Bacillus</i>	505,6 Aa	417,6 Ba
Coinoculação	420,2 Aa	503,2Aa

*Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Segundo Siqueira e Moreira (2002), o conteúdo de carbono na biomassa microbiana pode servir como um indicador do potencial de disponibilidade de nutrientes para as plantas, podendo estar associado à qualidade do solo e, por conseguinte, à produtividade ecológica. Sendo assim, as maiores médias nos tratamentos em que foram realizadas inoculações, em solo com residual de superfosfato triplo, podem ser explicadas pela maior população de microrganismos (Tabela 2).

Segundo Harger et al. (2007), este efeito está diretamente associado à maior velocidade de liberação do nutriente pelo fosfato solúvel, minimizando o efeito da competição solo/planta. Sendo assim plantas bem nutridas liberam maior quantidade de exsudados e, segundo Santana et al. (2017), em solos onde a presença de microrganismos está vinculada aos exsudados radiculares, ocorre um estímulo para o crescimento da biomassa microbiana no solo.

Para a variável RMS não foram observadas diferenças das inoculações em relação à fonte de fósforo superfosfato triplo (Tabela 3). A maior taxa de respiração microbiana foi proporcionada pela inoculação o com *Bacillus* no residual de pó de rocha sendo a menor média no tratamento com *Azospirillum* (Tabela 3).

Tabela 3. Respiração microbiana do solo (RMS- mg C g⁻¹ solo seco) em função do residual de fontes de fósforo e inoculação no tratamento de sementes.

Inoculante	Fonte de Fósforo	
	PR	ST
Sem inoculação	108,5 Ab	107,1 Aa
<i>Azospirillum</i>	85,6 Bc	103,7 Aa
<i>Bacillus</i>	130,9 Aa	95,9 Ba
Coinoculação	99,2 Ab	109,6 Aa

*Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade.

Segundo Silva et al. (2007), a respiração microbiana do solo é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido. A emissão de CO₂ é resultado da ação de bactérias, fungos, algas e protozoários presentes no solo, além das raízes das plantas (Epron et al., 2006). Dessa forma, a maior respiração observada no tratamento com *Bacillus* pode representar maior atividade metabólica nesse tratamento (Tabela 3). Segundo Aguiar et al. (2014), bactérias solubilizadoras de fosfato são frequentemente encontradas na rizosfera, isso porque nessa região são secretados ácidos orgânicos ou fosfatases, que facilitam a conversão da forma insolúvel de fósforo para aquelas que as plantas podem absorver. Sendo a fonte pó de rocha, uma fonte pobre em fosfato disponível, torna-se necessário a ação das bactérias do gênero *Bacillus* para que facilite a disponibilidade para as plantas. A respiração microbiana do solo possui uma estreita relação com as condições abióticas do solo, entre elas a umidade, temperatura e aeração (SILVA et al., 2007). A partir do exposto, é possível afirmar que as condições do solo com resíduo de pó de rocha e inoculados com *Bacillus* favoreceram a atividade microbiana.

Em contrapartida, a inoculação com *Azospirillum* teve maiores médias em solos com resíduo de superfosfato triplo em relação as com pó de rocha (Tabela 3), isso indica que a fonte

de fósforo, superfosfato triplo, forneceu condições ambientais favoráveis para bactérias desse gênero.

A variável quociente metabólico foi influenciada pelos tipos de inoculações, sendo a maior média nos tratamentos onde não foi realizado a inoculação nas sementes (Tabela 4).

Tabela 4. Quociente metabólico em função da inoculação e coinoculação no tratamento de sementes de milho.

Inoculante	<i>q</i> CO₂
Sem inoculação	3,1 A
<i>Azospirillum</i>	2,1 B
<i>Bacillus</i>	2,5 B
Coinoculação	2,3 B

*Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-knott a 5% de probabilidade.

Quando a eficiência da biomassa microbiana aumenta, ocorre uma redução nas emissões de CO₂ para a atmosfera. Simultaneamente, uma maior quantidade de carbono é assimilada pela biomassa microbiana, levando a valores inferiores de *q*CO₂ (Cunha et al., 2011)

Segundo Zhang et al. (2011) o quociente metabólico tem sido usado como índice ecofisiológico dos microrganismos do solo e reflete o status bioenergético da biomassa microbiana. Diante das afirmações é possível justificar o resultado encontrado no experimento, onde o tratamento em que não foi realizado inoculação ou coinoculação obteve maior taxa de emissão de CO₂ (Tabela 4), apresentando uma menor eficiência na conversão do carbono em energia microbiota.

A produtividade foi influenciada pela interação das inoculações com as diferentes fontes de fósforo (Tabela 5). Em relação as inoculações, não foram influenciadas nos tratamentos em solo com residual de pó de rocha. Nos tratamentos com resíduo da fonte de fósforo superfosfato triplo os efeitos das inoculações influenciaram nos resultados, onde as maiores médias foram observadas nos tratamentos com *Azospirillum* e *Bacillus* quando comparados com os tratamentos sem inoculação e coinoculados.

Tabela 5. Produtividade do milho (kg ha^{-1}) em função da interação entre os fatores fontes de fósforo e inoculação no tratamento de sementes.

Inoculante	Produtividade (kg há^{-1})	
	Fontes de Fósforo	
	PR	ST
Sem inoculação	5302 Aa	5042 Ab
<i>Azospirillum</i>	4852 Ba	6057 Aa
<i>Bacillus</i>	5649 Ba	6631 Aa
Coinoculação	5346 Aa	5137 Ab

*Letras maiúsculas iguais não se diferenciam na linha pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras minúsculas iguais não se diferenciam na coluna pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Segundo Novais et al. (2007) a carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros decorre da forte interação desse nutriente com os colóides do solo, proporcionando alta capacidade de fixação e baixa disponibilidade de P, concorrendo para resposta à adubação fosfatada na grande maioria dos solos brasileiros, principalmente nos Latossolos. Diante do exposto pode-se perceber que as maiores produtividades foram observadas nos tratamentos com resíduo de superfosfato triplo associados com inoculação de *Azospirillum* e *Bacillus*, esse fato pode ser explicado pelo fato de ser uma fonte de fósforo com liberação mais rápida quando comparada com o pó de rocha (Tabela 5).

O fato do superfosfato triplo ter uma liberação mais rápida e os benefícios do *Azospirillum* e *Bacillus* na inoculação das sementes, pode explicar o resultado encontrado. De acordo com Paiva et al. (2021) essa nova perspectiva de bioinsumos visa maximizar o aproveitamento de fósforo (P), nas culturas de milho e soja, por meio de mecanismos biológicos variados.

CONCLUSÕES

A variável carbono da biomassa microbiana foi influenciada positivamente em solo com residual de superfosfato triplo com inoculação e coinoculação dos solubilizadores de fosfato.

A respiração microbiana do solo foi mais intensa nos tratamentos com inoculação de bactérias do gênero *Bacillus* no solo com residual de pó de rocha.

As inoculações com *Azospirillum*, com o consórcio de bactérias do gênero *Bacillus* e a coinoculação favoreceram o quociente metabólico.

O tratamento com residual de superfosfato triplo associado ao uso de *Azospirillum* e *Bacillus* promoveram maiores produtividades de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. S. (2014). Seleção e caracterização de bactérias endofíticas isoladas de plantas de milho com potencial para a biossolubilização de rochas fosfáticas. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG. p.47.

AGUIAR, A.V.; SOUZA, V. A.; SHIMIZU, J. I. Espécies de pínus mais plantadas no Brasil. In: AGUIAR, A.V. (Ed.). Cultivo de Pínus. 2.ed. Colombo-PR: EMBRAPA FLORESTAS. 2014, p.2-17. (Sistema de Produção, 5).

ALEF, K.; NANNIPIERI, P.; 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, 1995. 576p.

AMORIM, P. H. T., 2022. Doses de fósforo na cultura da soja em condições de cerrado.

BRACCINI, A. L.; MARIUCCI, G. E. G.; SUZUKAWA, A. K.; LIMA, L. H. da S.; PICCININ, G. G., 2016. Co-inoculação e Modos de Aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e Adubação Nitrogenada na Nodulação das Plantas e Rendimento da Cultura da Soja. Scientia Agraria Paranaensis, v. 15, n. 1, p. 27–35, 23.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2021). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 12. Décimo segundo levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 35, p. 603-611, 2011.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; DELEPORTE, P.; IFO, S.; KAZOTTI, G.; THONGO M'BOU, A.; MOUVONDY, W.; SAINT-ANDRÉ, L.; ROUPSARD, O.; JOURDAN, C.; HAMEL, O. Soil carbon balance in a clonal Eucalyptus plantation in Congo: effects of

logging on carbon inputs and soil CO₂ efflux. *Global Change Biology*, v. 12, p. 1021-1031, 2006.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. *Brazilian Journal of Biometrics*, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450. Disponível em:

<https://biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. (acessado em: 05 nov. 2023).

FIGUEIREDO, C. C. ., BARBOSA, D. V., OLIVEIRA, S. A. DE ., FAGIOLI, M., SATO, J. H.. (2012). Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. *Revista Ciência Agronômica*, 43(3), 446–452.

FLAUZINO, D. S.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G., 2018. Soja associada à inoculação e coinoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* após cultivos de outono-inverno *Revista de Agricultura Neotropical*.

HARGER, NELSON; BRITO, OSMAR R.; RALISCH, RICARDO; ORTIZ, FÁBIO ROGÉRIO; WATANABE, TOSHIO SÉRGIO. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho Semina: *Ciências Agrárias*, vol. 28, núm. 1, enero-marzo, 2007, pp. 39-44.

MORAES L.N. Uso de pó de rocha na agricultura brasileira. Universidade de Brasília. Brasília: 2021.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2002.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

PINHO, R. G. V; RIVERA, A.A.C.; BRITO, A, H; LIMA, T, G, 2009. Avaliação agronômica do cultivo de milho em diferentes níveis de investimento.

RAIJ B. VAN ANDRADE, J. C. DE.; CANTARELLA, HEITOR.; QUAGGIO, J. A., 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agronômico, 285p.

- RODRIGUES, R. B., OZORIO, L. D. M., PINTO, C. D. L. B., BRANDAO, L. E. T. (2015). Product switch option in the fertilizer industry. *Revista de Administração (São Paulo)*, 50(2), 129-140.
- SANTANA, A. S., DA SILVA CHAVES, J., SANTANA, A. S., RODRÍGUEZ, C. A., e DE MORAES, E. R. (2017). Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no sul do estado de Roraima. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon*, 6(1), 43-50.
- SANTOS, C. F., OLIVEIRA, R. S., e DO CARMO PINTO, S. I. (2021). Uso de bioativador associado à dosagens de fertilizante fosfatado na cultura do milho. *Nativa*, 9(1), 16- 22.
- SILVA, E. E.; DE AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. (2007). Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). *Seropédica-RJ: Embrapa agrobiologia (Comunicado Técnico 99)*, p. 4.
- SOUSA, D. M. G. E LOBATO, E., ed. *Cerrado: Correção do solo e adubação*. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. 416p.
- TEBAR, M. M., ALOVISI, A, M, T; MUGLIA, G, R, P; VILLALBA, L,A; SOARES, M, S, P, 2021. Efeito Residual do pó de rocha basáltica nos atributos químicos e microbiológicos do solo e no estado nutricional da cultura da soja. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, p. e375101119612.
- WRITZL, T. C.; CANEPELLE, E; STEIN, J, E, S; KERKHOFF, J, T; STEFFLER, A, T; SILVA, D, W; REDIN, M, 2019. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em latossolo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v.9, n.2, p.101-109.
- ZHANG, C.; LIU, G.; XUE, S.; SONG, Z. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, v. 161, p. 115-125, 2011.