

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CÂMPUS CHAPADÃO DO SUL

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

GRAZIELLE NOGUEIRA DA SILVA

**FOSFATO NATURAL E BIOESTIMULANTES SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO
NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO**

CHAPADÃO DO SUL – MS 2025

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

FOSFATO NATURAL E BIOESTIMULANTES SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO
NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,
como parte das exigências para a obtenção do
título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Profa. Dra. Meire Aparecida
Silvestrini Cordeiro.

CHAPADÃO DO SUL – MS 2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: GRAZIELLE NOGUEIRA DA SILVA

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

Aprovada 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, Câmpus de Chapadão do Sul.

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

Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima
Membro da Banca Examinadora

Dra. Andressa Silva Rodrigues
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 06 de março de 2025.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 06/03/2025, às 09:31, 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 **Sebastião Ferreira de Lima, Professor do Magisterio Superior**, em 06/03/2025, às 09:31, 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 Laboratorio Area**, em 06/03/2025, às 09:32, 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](#).



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 código verificador **5466618** e o código CRC **E7C9E01E**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº 5167

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000156/2025-12

SEI nº 5466618

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por guiar cada passo da minha jornada e ser meu guia e alicerce em todos os processos, especialmente nos momentos mais desafiadores, protegendo e trazendo paz.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e tornando possível a concretização do meu sonho de concluir a graduação. Minha mãe Luciana da Silva Souza, ao meu pai Pedro Nogueira de Souza, e aos meus irmãos Wesley Nogueira da Silva e Michelle Nogueira da Silva.

Ao meu esposo, Lucas Filgueira Neves, meu companheiro de vida, por seu amor, paciência e apoio incondicional em cada etapa desta jornada. Seu incentivo foram fundamentais para que eu pudesse superar desafios e conquistar mais esse sonho. Sou imensamente grata por tê-lo ao meu lado.

Aos meus amigos que nessa caminhada me encorajaram e me apoiaram, sendo peças importantes para essa conquista.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, por me acolher e me proporcionar a oportunidade de desenvolver este trabalho. Sou imensamente grata por sua paciência, dedicação e por estar sempre disposta a me ajudar.

Ao Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima e a Dr.^a Andressa Rodrigues, por me auxiliar nesse trabalho, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora, e me ajudarem na minha evolução dentro da graduação.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus Chapadão do Sul, pela oportunidade de cursar Engenharia Florestal.

A todos que depositaram sua confiança em meu progresso, meus agradecimentos!

SUMARIO

RESUMO	5
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4. CONCLUSÕES	15
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

FOSFATO NATURAL E BIOESTIMULANTES SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO

RESUMO

O uso de fontes alternativas de fósforo como o pó de rocha que é um fosfato natural tem sido bastante difundido na agricultura, dessa forma aliar esse insumo, que possui liberação lenta dos nutrientes, como os bioestimulantes. Os bioestimulantes auxiliam na liberação do P para a solução do solo, e podem também contribuir fisiologicamente para o crescimento e desenvolvimento saudável das plantas, podendo ser substâncias naturais (microrganismos) ou sintéticas. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso do fosfato natural pó de rocha associado a bioestimulantes no desenvolvimento do milho (*Zea mays*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Câmpus Chapadão do Sul com delineamento experimental em blocos casualizados, com sete tratamentos e sete repetições, sendo: 1) Superfosfato simples (testemunha- TEST); 2) Pó de Rocha (PR); 3) Pó de Rocha + Fungos Micorrízicos Arbusculares (PR + FMA); 4) Pó de Rocha + Produto fisiológico (PR + EST); 5) Pó de Rocha + Azospirillum (PR + AZO); 6) Pó de Rocha + Fungos Micorrízicos Arbusculares + Produto fisiológico (PR + FMA + EST); 7) Pó de Rocha + Azospirillum + Produto fisiológico (PR + AZO + EST). O Produto fisiológico foram aplicados diretamente nas sementes do milho, previamente ao plantio, bem como SS e o PR (dosagem quatro vezes maior que o SS). O experimento foi conduzido por 45 dias (estádio V9), quando foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da planta (H), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), índice relativo de clorofila (CL), massa seca da folha (MSF), a massa seca do colmo (MSC) e a massa seca da raiz (MSR), fósforo foliar (PF) e a porcentagem de colonização micorrízica (MIC). A avaliação indicou que as variáveis DC, MSF, MSC, CL e AF foram influenciadas pelo tratamento com pó de rocha associado ao produto fisiológico (PR + EST), quando comparado à aplicação isolada do pó de rocha. Além disso, os tratamentos PR + AZO, PR + FMA + EST e PR + AZO + EST apresentaram as maiores porcentagens de micorrização.

Palavras-chave: bioinsumos, micorrização, microbiologia do solo.

NATURAL PHOSPHATE AND PHOSPHORUS-SOLUBILIZING BIOSTIMULANTS IN MAIZE DEVELOPMENT

ABSTRACT

The use of alternative phosphorus sources, such as rock dust, which is a natural phosphate, has been widely promoted in agriculture. Combining this input, which has a slow nutrient release, with biostimulants can be beneficial. Biostimulants aid in the release of P into the soil solution and can also contribute physiologically to the healthy growth and development of plants. These biostimulants can be natural substances (microorganisms) or synthetic compounds. In this context, the present study aimed to evaluate the effect of using natural phosphate rock dust combined with biostimulants on the development of maize (*Zea mays*). The experiment was conducted in a greenhouse at the Chapadão do Sul Campus, following a randomized block design with seven treatments and seven replications: 1) Single Superphosphate (control – TEST); 2) Rock Dust (RD); 3) Rock Dust + Arbuscular Mycorrhizal Fungi (RD + AMF); 4) Rock Dust + Physiological Product (RD + PGR); 5) Rock Dust + Azospirillum (RD + AZO); 6) Rock Dust + Arbuscular Mycorrhizal Fungi + Physiological Product (RD + AMF + PGR); 7) Rock Dust + Azospirillum + Physiological Product (RD + AZO + PGR). The physiological product was applied directly to maize seeds before planting, as well as SS and RD (at a dosage four times higher than SS). The experiment lasted 45 days (up to the V9 stage), during which the following variables were evaluated: plant height (H); stem diameter (SD); leaf area (LA); relative chlorophyll index (CI); leaf dry mass (LDM); stem dry mass (SDM); root dry mass (RDM); leaf phosphorus content (LP); and percentage of mycorrhizal colonization (MC). The evaluation indicated that the variables SD; LDM; SDM; CI; and LA were influenced by the treatment with rock dust combined with the physiological product (RD + PGR), when compared to the isolated application of rock dust. Additionally, the treatments RD + AZO; RD + AMF + PGR; and RD + AZO + PGR showed the highest percentages of mycorrhizal colonization.

Keywords: bio-inputs, mycorrhization, soil microbiology

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um elemento fundamental na alimentação humana e animal, além de ter um papel importante na indústria, especialmente na produção de biocombustíveis (Begum et al., 2019). No entanto, com o crescimento da população mundial e pecuária, a agricultura enfrenta o desafio de adotar práticas mais sustentáveis, que preservem tanto o solo quanto o meio ambiente.

Devido ao seu ciclo rápido, o cultivo do milho exige uma grande quantidade de nutrientes, que normalmente é atendida por meio de aplicações frequentes de fertilizantes químicos, compostos principalmente de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Para o P, as limitações de disponibilidade em solos tropicais devido à sua adsorção por óxidos de ferro e alumínio, além de precipitações com íons, torna esse elemento menos acessível às plantas (Paiva et al., 2022; Szerlag et al., 2022; Bedassa, 2023).

Para compensar essa baixa disponibilidade, grandes quantidades de fertilizantes fosfatados são aplicadas, o que eleva os custos de produção e contribui para contaminação do solo e da água (Gatiboni et al., 2020; Mardamootoo, Preez; Bernard, 2021). Além disso, a escassez de fosfatos tornou-se uma preocupação global, uma vez que as jazidas, das quais esses fertilizantes são derivados, são recursos finitos. Portanto, é necessário adotar estratégias de manejo que maximizem a eficiência de uso e, ao mesmo tempo, reduzam os impactos ambientais decorrentes da aplicação intensiva desse fertilizante.

A rochagem tem ganhado destaque como uma fonte alternativa de fosfato (fosfato natural), que consiste no uso de rochas moídas que liberam nutrientes de forma mais lenta e controlada, oferecendo uma solução interessante para culturas de alto consumo, como o milho (Writzl et al., 2019). No entanto, sua eficiência pode ser aprimorada através da interação com processos biológicos entre as plantas e microrganismos, que através inoculação, têm uma função essencial na liberação do fósforo residual no solo ou quando aplicados a ele (Souto, 2020). São um exemplo de microrganismos simbióticos que aumentam a eficiência de absorção de nutrientes minerais do solo transportando para a zona radicular, onde são rapidamente assimilados, sendo também capazes de produzir ácidos orgânicos e enzimas que solubilizam minerais (Berbara; Souza; Fonseca, 2006).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são um exemplo de microrganismos simbióticos que aumentam a eficiência de absorção de nutrientes minerais do solo transportando para a zona radicular, onde são rapidamente assimilados, sendo também capazes de produzir ácidos orgânicos e enzimas que solubilizam minerais (Berbara; Souza; Fonseca, 2006). Esse

mecanismo é especialmente eficaz para a obtenção de elementos com baixa mobilidade e alta retenção no solo, como o fósforo (P).

Outro grupo relevante de microrganismos para o cultivo de milho são as bactérias do gênero *Azospirillum*, que são associativas e fixadoras de nitrogênio. Essas bactérias se destacam por promover o crescimento das plantas através da síntese de hormônios envolvidos nesse processo, aumentando a resistência a estresses e doenças. Além disso, têm a habilidade de solubilizar fontes de fósforo (Braccini et al., 2016).

Produtos fisiológicos obtidos a partir de diversos materiais orgânicos, também têm sido bastante difundidos por contribuir com uma agricultura mais sustentável e menos agressiva ao meio ambiente (Stadnik et al., 2017). Esses produtos são considerados uma opção viável por atuarem como aliviadores de estresses bióticos e abióticos, contendo substâncias como algumas algas marinhas, hormônios, nutrientes, reguladores vegetais e vitaminas, entre outros, que auxiliam na solubilização de nutrientes e no crescimento e desenvolvimento saudável das plantas (Kovalski, 2020; Araújo et al., 2021). Dessa forma, tornam-se uma alternativa promissora para mitigar os efeitos negativos que prejudicam o ciclo das culturas, especialmente os causados por agentes abióticos.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso do fosfato natural pó de rocha associado a bioestimulantes no desenvolvimento do milho (*Zea mays*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul no Câmpus de Chapadão do Sul (CPCS), situada no município de Chapadão do Sul (18°46'17,7"S, 52°37'27,7"W, altitude 813 m). O clima, segundo a classificação Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

O solo utilizado nos vasos foi um Latossolo Vermelho distrófico, da área experimental do CPCS, sendo retirado da camada superficial (0-20 cm), utilizando-se de 5,2 kg por vaso. A análise química apresentou os seguintes resultados: 31 mg dm⁻³ de P (resina); 27 g mg dm⁻³ de M.O.; 5,2 de pH (CaCl₂); K, Ca, Mg e H+Al = 2,2; 28; 7; 30 mmolc dm⁻³, respectivamente; Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA) = 1,5; 35; 1,6e 2,5 mg dm⁻³, respectivamente; 0,31 mg dm⁻³ de B em água quente e 55% de saturação por bases.

Foi realizada uma adubação de base para todos os tratamentos, calculados a partir das doses de 80 kg ha⁻¹ de ureia, 150 kg ha⁻¹ de K₂O, 10 mg kg⁻¹ solo de sulfato de Zinco, 0,5 mg

Kg⁻¹ solo de ácido bórico, 5 mg kg⁻¹ sulfato de manganês e 10 mg kg⁻¹ solo de sulfato de magnésio.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 7 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram compostos das combinações da fonte de fósforo pó de rocha com a inoculação ou aplicação dos solubilizadores de fosfato, e a testemunha, com a fonte mineral de fósforo. Foram eles: 1) Superfosfato simples (testemunha- TEST); 2) Pó de Rocha (PR); 3) Pó de Rocha + Fungos Micorrízicos Arbusculares (PR + FMA); 4) Pó de Rocha + Produto fisiológico (PR + EST); 5) Pó de Rocha + *Azospirillum* (PR + AZO); 6) Pó de Rocha + Fungos Micorrízicos Arbusculares + Produto fisiológico (PR + FMA + EST); 7) Pó de Rocha + *Azospirillum* + Produto fisiológico (PR + AZO + EST).

Para o tratamento testemunha foi utilizado como fonte de fósforo o fertilizante superfosfato simples, calculado na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Nos demais tratamentos, foram utilizados o fosfato natural pó de rocha, nas doses equivalentes a 400 kg ha⁻¹, sendo essa fonte composta por 6,068% de P₂O₅.

Os FMA foram utilizados a partir do solo-inóculo com média de 102 esporos por 50 mL solo (produzido previamente para o experimento, com esporos nativos da região, crescidos em planta hospedeira *Urochloa decumbens* por três meses). Nos tratamentos com FMA foi adicionado 50 mL do solo-inóculo no momento da semeadura, logo abaixo das sementes de milho.

O Produto fisiológico utilizado foi o FisiOn da empresa JC Selecta composto por melaço de soja; nitrato de magnésio; aditivos: 0,4% de agente dispersante/ emulsificante/ tensoativo/surfactante; 1,5% de agente estabilizante/ conservante; 0,15% de melhorador de absorção e proteção foliar; agentes complexantes: ácidos hidroxicarboxílicos e aminoácidos naturais; extrato de algas e água.

As sementes foram imersas por uma hora em uma solução de 10 mL do produto, diluída em 1 litro de água destilada. Nos tratamentos com *Azospirillum* foi utilizado o produto Azotrop, contendo as cepas Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense* com 2×10^8 UFC mL⁻¹, sendo utilizada dosagem correspondente a 100 mL do inoculante para 60.000 sementes, aplicados antes da semeadura e homogeneizadas em sacos plásticos.

A semeadura foi realizada em março, com quatro sementes por vaso, depositadas em cavidades de 1 cm de profundidade e cobertas com solo. A cultivar de milho utilizada foi FS 575 PWU, caracterizada por ciclo precoce e alta produtividade. Os vasos foram dispostos de forma aleatória e, aos 8 dias após a emergência (DAE), foi realizado o desbaste, deixando duas plantas por vaso. Durante todo o experimento, os vasos foram irrigados duas vezes ao dia.

Aos 19 DAE aplicou-se dose complementar de nitrogênio, sendo 4,4 g diluída em 1.000 mL de água, utilizando 20 mL por vaso, no estágio V4. Aos 23 DAE foi necessário realizar o controle de *Diabrotica speciosa* (vaquinha-verde) e *Dalbulus maidis* (cigarrinha-do-milho), aplicando o inseticida PERITO 970 SG (acefato), com ação por contato e ingestão, sendo 2 g em 1.000 mL de água, aplicando 20ml por vaso

Aos 41 DAE, período em que as plantas atingiram estágio V9, com máxima ocupação do vaso, foram realizadas as avaliações de crescimento e desenvolvimento das plantas. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da planta (H), medida com fita métrica flexível, a partir do colo da planta até o ramo mais longo, com a unidade expressa em centímetros (cm) e diâmetro do colmo (DC), medido com o auxílio de um paquímetro, com a unidade em milímetros (mm); área foliar (AF) calculada após a medição da largura e comprimento das folhas com fita métrica, com a unidade em centímetro quadrado (cm²).

O índice relativo de clorofila (CL) foi avaliado utilizando-se do aparelho clorofilômetro (ClorofiLOG CFL1030), nas folhas do terço superior e médio, durante o período da manhã.

Após a retirada total das plantas dos vasos, as mesmas foram lavadas com água, separadas em folha, colmo e raiz, colocadas em sacos de papel e secas em estufa a 65°C por 72 horas, até atingirem peso constante, dessa forma foram obtidos a massa seca da folha (MSF), a massa seca do colmo (MSC) e a massa seca da raiz (MSR), após serem pesadas em balança de precisão, com o resultado expresso em gramas (g) por vaso.

Antes da secagem foram retiradas uma grama de raízes finas para a avaliação da porcentagem de colonização micorrízica (MIC), conforme metodologia proposta por Giovanetti e Mosse (1980). E após a secagem das folhas, parte das mesmas foram trituradas para avaliação do teor de fósforo foliar, conforme metodologia de Malavolta et al. (1997).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se da comparação de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis avaliadas neste estudo, exceto a altura de plantas (H) e o fósforo foliar (PF), foram influenciadas pela aplicação do fosfato natural (pó de rocha) combinado com a inoculação e/ou aplicação de solubilizadores de fósforo, como mostra a Tabela 1. As variáveis afetadas incluem diâmetro de colmo (DC), massa seca foliar (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR), área foliar (AF), clorofila (CL) e micorrização (MIC).

Tabela 1. Análise de variância das variáveis altura de plantas (H), diâmetro de colmo (DC), massa seca foliar (MSF), massa seca colmo (MSC), massa seca de raiz (MSR), área foliar (AF), clorofila (CL), fósforo foliar (PF) e micorrização (MIC), submetido a diferentes combinações fosfato natural e solubilizadores de fosfato no cultivo de milho.

FV	GL	H	DC	MSF	MSC	MSR
QM						
Tratamento	6	0,0117 ^{ns}	12,454 ^{**}	14,274 ^{**}	14,509 ^{**}	69,0007 ^{**}
Resíduo	24	0,0061	0,6394	0,8966	1,1526	8,7805
Média geral	-	0,92	19,22	9,36	9,80	17,16
CV (%)		8,47	4,16	10,11	10,95	17,26
FV	GL	AF	CL	PF	MIC	
QM						
Tratamento	6	16070,761 ^{**}	27,3925 ^{**}	0,0668 ^{ns}	0,0995 ^{**}	
Resíduo	24	1519,0000	7,2216	0,0397	0,0083	
Média geral	-	590,17	32,11	1,99	0,63	
CV (%)		6,60	8,37	9,99	14,33	

** : significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Scott Knott; * : significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott; ^{ns} : não significativo; FV: fontes de variação, CV: coeficiente de variação, G: grau de liberdade do resíduo, QM: quadrado médio.

As variáveis DC, MSF, MSC e MSR não foram beneficiadas pelos tratamentos, porque as maiores médias foram encontrados no controle (Tabela 2), porém, observou-se que o tratamento PR + EST proporcionou valor igual estatisticamente para MSC, bem como o tratamento PR + AZO + EST para MSR, sendo superiores aos demais. Também foram verificados que o tratamento PR + EST, proporcionaram maiores DC e MSF, que os demais tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Diâmetro de colmo (DC), massa seca foliar (MSF), massa seca colmo (MSC) e massa seca de raiz (MSR) submetidos a diferentes combinações fosfato natural e solubilizadores de fósforo no cultivo de milho.

FV	DC	MSF	MSC	MSR
	(mm)	(g)	(g)	(g)
Super Simples (TEST)	22,08 a	12,67 a	12,70 a	21,72 a
Pó de rocha	18,95 c	8,65 c	9,59 b	13,85 b

PR + FMA	17,71 c	8,37 c	8,16 b	13,72 b
PR+ EST	20,65 b	10,55 b	11,53 a	15,58 b
PR + AZO	18,83 c	8,99 c	9,10 b	16,48 b
PR + FMA + EST	18.17 c	7,80 c	8,19 b	15,78 b
PR + AZO + EST	18,15 c	8,51 c	9,36 b	23,02 a

Médias seguidas de letra diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade.

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que o tratamento PR + EST destacou-se em relação aos demais tratamentos atribuídos às variáveis DC, MSF e MSC. Essa performance pode ser atribuída ao efeito do produto fisiológico, que promovem o crescimento vegetal através de ações hormonais e incrementam a absorção de água e nutrientes, mesmo em solos de baixa fertilidade (Barbosa et al., 2024).

Tais efeitos são consistentes com estudos que evidenciam o papel das auxinas na regulação do crescimento celular e na diferenciação, bem como a contribuição das citocininas na mobilização de nutrientes e no desenvolvimento vascular (DOURADO NETO et al., 2014).

Para a variável MSC, o tratamento PR + EST apresentou um incremento médio de 23% em relação aos outros tratamentos, exceto o tratamento TEST, demonstrando um efeito sinérgico altamente desejável no cultivo do milho. Este resultado reforça a importância dos produtos fisiológicos na promoção de maior acúmulo de biomassa no colmo, o que favorece a resistência das plantas ao acamamento e ao quebramento (Boutahiri et al., 2024). Além disso, os fitohormônios presentes nos produtos fisiológico, como ácido giberélico, citocinina e auxina, desempenham papel crucial no crescimento do caule, promovendo a divisão celular e a formação de tecidos condutores (DOURADO NETO et al., 2014).

No que se refere à MSR, o tratamento PR + AZO + EST apresentou os melhores resultados, com incremento médio de 34,5% em comparação aos demais tratamentos. Este desempenho pode ser atribuído à ação de *Azospirillum brasilense*, que atua na solubilização de fósforo (P) e na produção de compostos que promovem o crescimento radicular (Oliveira et al., 2020). A presença de *Azospirillum* favorece o desenvolvimento de raízes mais finas e aumenta a superfície de absorção, contribuindo para o maior acúmulo de biomassa radicular. Comparativamente, o PR + AZO + EST foi 32,3% mais eficiente que o PR + EST e 28,4% superior que o PR + AZO, destacando a interação benéfica entre esses microrganismos e o pó de rocha.

Embora os produtos fisiológicos não substituam a necessidade de nutrientes essenciais, eles incrementam a eficiência de absorção mineral, favorecendo o crescimento de folhas,

diâmetro de colmo e massa seca do colmo. Em tratamentos com pó de rocha, os produtos fisiológicos mostram-se particularmente eficazes, promovendo uma utilização mais eficiente dos nutrientes disponíveis (Mugnai et al., 2008). No entanto, é importante considerar que o pó de rocha apresenta uma liberação gradual de nutrientes, o que pode influenciar a dinâmica de absorção pelas plantas (Prates et al., 2012). Assim, os produtos fisiológicos representam uma estratégia complementar e potencialmente sustentável ao uso.

Interessante observar que para o índice relativo de clorofila (CL) (Tabela 3), exceto o tratamento PR + FMA, todos os demais tratamentos que foram utilizados solubilizadores de fósforo, apresentaram maiores valores que o tratamento somente com pó de rocha, sendo iguais ao tratamento com super simples.

Tabela 3. Índice relativo de clorofila (CL), área foliar (AF) e porcentagem de colonização micorriza (MIC) submetidos a diferentes combinações fosfato natural e solubilizadores de fósforo no cultivo de milho.

FV	CL	AF (cm ²)	MIC (%)
Super Simples (TEST)	33,34 a	666,80 a	38,2 d
Pó de rocha	27,96 b	569,20 b	62,4 b
PR+FMA	29,64 b	530,60 b	65,6 b
PR+ EST	33,58 a	631,40 a	54,6 c
PR + AZO	33,94 a	646,20 a	80,4 a
PR + FMA+EST	33,56 a	532,80 b	71,4 a
PR + AZO+EST	32,76 a	554,20 b	74,6 a

Médias seguidas de letra diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade.

Os tratamentos PR + EST, PR + AZO, PR + FMA + EST e PR + AZO + EST aumentaram a índice de clorofila em média de 16,4% em comparação ao tratamento Pó de Rocha. Esse aumento observado nos tratamentos que incluíram o produto fisiológico pode ser explicado por Araújo et al. (2021), que relatam que os compostos presentes possuem o efeito de mitigar os impactos do estresse, que podem levar à degradação da clorofila e à redução da atividade fotossintética. Dessa forma, ao melhorar a tolerância ao estresse, os produtos fisiológicos ajudam a manter níveis mais elevados de clorofila e, conseqüentemente, promovem maior eficiência na fotossíntese.

Para a variável AF, os tratamentos PR + EST e PR + AZO apresentaram resultados superiores aos demais tratamentos, e iguais ao tratamento TEST (Tabela 3). Esses resultados podem ser atribuídos à presença de *Azospirillum brasilense* e ao extrato de algas no produto fisiológico que são capazes de produzir fitohormônios como auxinas e citocininas, promovendo maior expansão foliar (Oliveira et al., 2020). Além disso, os compostos do produto fisiológico presentes nos tratamentos potencializam a mobilização de nutrientes para o crescimento das folhas, como relatado por Mugnai et al. (2008).

Todos os tratamentos com pó de rocha influenciaram positivamente a porcentagem de colonização micorrízica (MIC) em relação ao tratamento com o uso de super simples (Tabela 3). Sendo os maiores valores observados nos tratamentos PR + AZO, PR + AZO + EST e PR + FMA + EST que apresentaram média de 75,4 %, uma diferença de mais de 37% em relação ao tratamento TEST. Esses resultados reforçam a interação benéfica entre microrganismos e bioestimulantes, que potencializam a associação simbiótica com fungos micorrízicos.

Segundo Prates et al. (2012), a alta colonização micorrízica é crucial para plantas cultivadas em solos de baixa fertilidade, uma vez que aumenta a absorção de nutrientes, especialmente fósforo, promovendo o desenvolvimento radicular e o crescimento geral da planta. Em contrapartida, em ambiente com condições nutricionais elevadas, como é o caso do tratamento testemunha, com a fonte de fósforo supersimples, as plantas conseguem regular o estabelecimento e a extensão da colonização por FMA (NOURI et al., 2014). Kiers et al. (2011) afirmam que a troca bidirecional de nutrientes durante a simbiose entre plantas e FMA segue um modelo no qual ambos conseguem exercer controle sobre seus suprimentos. Essa troca bidirecional nutrientes-carboidratos, ao ser regulada pelos dois, garante uma relação simbiótica estável.

Como já esperado, o uso da fonte de fósforo superfosfato simples, por se tratar de uma fonte solúvel desse nutriente, proporcionou valores satisfatórios para todas as variáveis avaliadas neste estudo, porém, quando a fonte natural pó de rocha foi associada aos diferentes bioestimulantes, tanto com inoculantes de microrganismos como os produtos fisiológico de plantas, proporcionaram resultados semelhantes à fonte solúvel ou melhores que o tratamento com o pó de rocha sem a associação. Esses resultados indicam que, em um sistema de cultivo sustentável, o uso de produtos fisiológico e microrganismos, como *Azospirillum brasilense* e fungos micorrízicos arbusculares, podem compensar a liberação lenta de nutrientes do pó de rocha, favorecendo a absorção de fósforo e promovendo um maior desenvolvimento das plantas (Castro; Vieira, 2001).

Estudos como este, sobre os efeitos da inoculação de microrganismos ou produtos solubilizadores de fósforo, isolados ou em coinoculação em culturas como milho, bem como o comportamento de diferentes fontes, especialmente as fontes alternativas de nutrientes carecem de mais investigações, tanto em casa de vegetação como em campo.

4. CONCLUSÕES

As combinações do fosfato natural pó de rocha com os diferentes bioestimulantes solubilizadores de fósforo influenciaram positivamente as variáveis diâmetro de colmo (DC), massa seca foliar (MSF), massa seca colmo (MSC), massa seca de raiz (MSR), Índice relativo de clorofila (CL), área foliar (AF) e porcentagem de colonização micorrízica (MIC) em relação a aplicação isolada do pó de rocha.

O tratamento pó de rocha associado ao produto fisiológico (PR + EST) destacou-se por influenciar os maiores valores de DC, MSF, MSC, CL e AF em relação PR aplicado isolado.

Os tratamentos PR + AZO, PR + FMA + EST, PR + AZO + EST proporcionaram maiores porcentagens de colonização micorrízica das raízes (MIC) das plantas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGUM, N.; AHANGER, M. A.; SU, Y.; LEI, Y.; MUSTAFA, N. S. A.; AHMAD, P.; ZHANG, L. Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. **Plants**, v. 8, n. 579, 2019.

BARBOSA DA SILVA.; JOÃO HENRIQUE ET AL. Uso de bioestimulantes na cultura do milho (*Zea mays* L.): uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, n. 5, 2023. DOI: 10.36560/16520231664. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/index.php/SEA/article/view/1664>. Acesso em: 11 mar. 2025.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; BARBIERI, A. P. P.; MARTIN, T. N. Ação de bioestimulante no desempenho agrônômico de milho e feijão. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 30, p. 371–379, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18110>. Acesso em: 08 mar. 2025.

PAIVA, M.; OLIVEIRA, F.; ALVES, W.; FARIAS, M.; CUNHA, M.; TAVARES, H.; GÓIS, H.; SANTOS, M.; ARRUDA, J.; GRANGEIRO, L.; BEZERRA, M.; SÁ, F. Phosphorus in alkaline soils of the semiarid region, Brazil: inorganic fractions, capacity factor, and availability. **International Journal of Phytoremediation**, v. 25, p. 965 – 980, 2022.

SZERLAG, K. D.; ELAVARTHI, M.; SIEBECKER, M. G.; GU, C.; MCCRONE, C.; SPARKS, D. L. Systematic study of legacy phosphorus (P) desorption mechanisms in high-p agricultural soils. **Minerals**, v. 12, n. 4. p. 458, 2022.

BEDASSA, M. Fractionation and distribution of phosphorus in acid soils: **Review**. **International Journal of Horticulture and Food Science**, v. 5, n. 1, p. 64-70, 2023.

SOUTO, L. A. Usos e potencialidades na agricultura. 2020. Trabalho acadêmico – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30229>. Acesso em: 08 jan. 2025.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, p. 57, 2006.

GATIBONI, L.; BRUNETTO, G.; PAVINATO, P. S.; GEORGE, T. S. Editorial: Legacy phosphorus in agriculture: role of past management and perspectives for the future. **Frontiers in Earth Science**, v. 8, 2020.

MARDAMOOTOO, T., PREEZ, C.; BARNARD, J. Agricultural phosphorus management for environmental protection. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 9, n. 8, 2021.

WRITZL, T. C. et al. 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, 2019.

BRACCINI, A. L. et al. 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, 2016.

STADNIK M. J.; ASTOLFI P.; FREITAS M. B. Bioestimulantes: uma perspectiva global e desafios para a América Latina. **I Simpósio Latino-Americano sobre Bioestimulantes na Agricultura, 2017**. Disponível em: <http://www.bioestimulantes.ufsc.br/files/2017/11/Anais-I-Simp%C3%B3sio-Latino-Americano-sobre-Bioestimulantes-na-Agricultura-SLABA-2017.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2022.

KOVALSKI, A. R. Avaliação do Desempenho Agronômico de Diferentes Cultivares de Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) Com Uso de Bioestimulantes e Herbicida Hormonal. **PesquisAgro**, v. 3, n. 1, p. 4-23, 2020.

ARAÚJO, L. L. M.; RAMOS, D.; BRACHTVOGEL, E.; KOVALSKI, A. Ação de Bioestimulantes em cultivares comerciais de soja na Região Norte do Vale do Araguaia-MT. **PesquisAgro**, v. 4, n. 1, p. 3-21, 2021.

PRATES, F. B. S.; LUCAS, C. S. G.; SAMPAIO, R. A.; BRANDÃO JUNIOR, G. R. Crescimento de mudas de pinhão-manso em resposta à adubação com superfosfato simples e pó de rocha. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 207-213, 2012.

BOUTAHIRI, S.; BENRKIA, R.; TEMBENI, B.; IDOWU, O. E.; OLATUNJI, O. J. Effect of biostimulants on the chemical profile of food crops under normal and abiotic stress conditions. **Current Plant Biology**, v. 40, p. 6, 2024.

MUGNAI, S.; AZZARELLO, E.; PANDOLFI, C.; SALAMAGNE, S.; BRIAND, XMANCUSO, S. Enhancement of ammonium and potassium root influxes by the application of marine bioactive substances positively affects *Vitis inifera* plant growth. **Journal of Applied Phycology**, v. 20, p. 177-182, 2008.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 23, p. 222-228, 2001.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 222-228, 2001.

ARAÚJO, L. L. M.; RAMOS, D.; BRACHTVOGEL, E.; KOVALSKI, A. Ação de Bioestimulantes em cultivares comerciais de soja na Região Norte do Vale do Araguaia MT. **PesquisAgro**, v. 4, n. 1, p. 3-21, 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **Potafos**, 319 p, 1997.