

RESPOSTA DA MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO À FERTILIZAÇÃO FOSFATADA E SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO NO MILHO

Francisco Negrini Romero Filho, Fernando Deprá Alves, Pedro Henrique Monte Pereira, Maurício Valliati Simões, Ivoney Gontijo.

Universidade Federal do Espírito Santo, Rodovia Governador Mário Covas, Km 60 - Bairro Litorâneo - 29932-540 - São Mateus - ES, Brasil, francisco.romero@edu.ufes.br, fernando.d.alves@edu.ufes.br, pedro.pereira.80@edu.ufes.br, mauricio.simoes@edu.ufes.br e ivoney.gontijo@ufes.br

Resumo

Objetivou-se no presente estudo avaliar o efeito de fertilizantes fosfatados e do fertilizante orgânico *Flex Roots* na fertilidade do solo cultivado com milho. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Fazenda Experimental do CEUNES, em São Mateus, e teve duração de 60 dias. Utilizou-se o milho híbrido Agroceres 1051, semeado em vasos de 10 litros com solo da camada de 0-20 cm, incubado com calcário e adubado conforme recomendações técnicas. O delineamento experimental foi em DBC, com um fatorial (2x3), totalizando 6 tratamentos com 4 repetições. Os tratamentos incluíram a presença e ausência do solubilizador de fósforo *Flex Roots*, combinado com fontes de fósforo. As análises químicas do solo foram realizadas ao final do experimento, avaliando pH, acidez potencial, alumínio, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, soma de bases, saturação de bases, saturação por alumínio e micronutrientes. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey (5%). O Termofosfato (TF) se destacou em ambientes com *Flex Roots* presentes, mostrando-se uma opção promissora para melhorar a qualidade do solo em sistemas agrícolas tropicais.

Palavras-chave: Disponibilidade de nutrientes. Sustentabilidade agrícola. Fertilidade dos solos. *Flex Roots*.

Área do Conhecimento: Engenharia Agronômica - Agronomia.

Introdução

Na contemporaneidade, o milho (*Zea mays L.*), pertencente à família Poaceae, desempenha um papel crucial na alimentação humana e animal, sendo uma das principais culturas agrícolas. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção de milho na safra 2022/23 atingiu 322,8 milhões de toneladas, representando um aumento de 18,4% em relação à safra anterior. Esse crescimento foi impulsionado tanto pela expansão da área plantada, que alcançou 78,5 milhões de hectares, quanto pelo aumento da produtividade média, que passou de 3.656 kg ha⁻¹ para 4.111 kg ha⁻¹. Esses dados destacam a importância crescente da cultura do milho no cenário agrícola brasileiro e refletem os avanços na produção.

Diante desse aumento expressivo na produção, torna-se fundamental compreender a dinâmica do milho em relação à nutrição do solo, um dos principais fatores que influenciam o custo de produção na agricultura. De acordo com informações da Embrapa Milho e Sorgo, o fósforo (P) é o terceiro nutriente mais demandado pela cultura do milho na produção de grãos, observando o nitrogênio e o potássio (COELHO, 2006). A baixa mobilidade do fósforo, particularmente em solos tropicais ricos em óxidos de ferro e alumínio, resulta na necessidade de aplicação de fertilizantes em quantidades que frequentemente excedem a demanda das culturas, visto que apenas 20% a 30% do P aplicado é efetivamente utilizado (JORHI *et al.*, 2015).

Nesse contexto, os microrganismos solubilizadores de fósforo (MSP) desempenham um papel vital na disponibilização desse nutriente para as plantas, transformando o fósforo em uma forma solúvel que facilita sua absorção pelas culturas. Apesar de geralmente estarem presentes em baixas concentrações no solo e na superfície das sementes, os MSP são cruciais para a ciclagem do fósforo e para a promoção da nutrição das plantas. A necessidade de aumentar a produtividade agrícola, aliada à

qualidade ambiental, ressalta a importância da matéria orgânica do solo (MOS) na sustentabilidade dos agroecossistemas. De acordo com Costa *et al* (2011) outra forma de melhorar as propriedades físicas do solo é o uso de resíduos orgânicos como adubação, elevando o teor de matéria orgânica e melhorando a fertilidade e as características físicas do solo. De acordo com Abbruzzini (2011), o manejo eficiente da MOS melhora a qualidade do solo afetando a capacidade de troca catiônica, a disponibilidade de nutrientes, o pH e a sorção de pesticidas. Assim, contribui na formação e estabilidade dos agregados do solo, impactando a densidade, a infiltração de água e a aeração. Essas melhorias estruturais no solo criam um ambiente mais favorável para a atividade dos MSP, potencializando sua capacidade de solubilizar o fósforo e, promovendo uma agricultura mais eficiente e sustentável. A motivação deste estudo é entender qual fertilizante fosfatado, associado a um solubilizador de fósforo, resulta em uma melhor fertilidade do solo. Ao realizar essa pesquisa, buscamos contribuir para práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. Através da disseminação desses conhecimentos, esperamos capacitar agricultores e profissionais da área a tomar decisões mais informadas, promovendo um manejo do solo que beneficie tanto a produtividade quanto o meio ambiente. Assim, este trabalho não só avança o conhecimento científico, mas também apoia a educação e a conscientização sobre a importância de práticas agrícolas sustentáveis.

Metodologia

O estudo foi conduzido por um período de 60 dias, em casa de vegetação do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no município de São Mateus-ES, coordenadas geográficas 18°40'19.6"S e 39°51'23.7"W, com altitude de 39 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw (tropical úmido) com chuvas no verão e inverno seco (Alvares *et al.*, 2014). A análise química e geral do solo foi feita antes da coleta para garantir que o solo da mata nativa era pobre, em profundidades de 0 – 20 cm. A coleta do solo foi realizada no dia 08 de dezembro de 2023 na mata nativa localizada no espaço da fazenda experimental. A terra coletada foi passada em uma peneira de malha 8, com passagem de grãos de areia com diâmetro entre 2 a 4 mm, para separar impurezas e obter solo com a mesma granulometria. Foi realizada a incubação nos 24 vasos, onde foi adicionado calcário.

O delineamento experimental empregado para o estudo foi em blocos casualizados (DBC), com fatorial (2x3), totalizando 6 tratamentos com 4 repetições. Os tratamentos incluíram a presença ou ausência do solubilizador de fósforo *Flex Roots*, combinado com diferentes fontes de fósforo: Super Triplo, Termofosfato Magnesiano e Fosfato Natural Reativo (FNR). A adubação de plantio foi realizada seguindo as recomendações técnicas de adubação para vasos, conforme Embrapa (1991). Para a adubação, utilizamos uma lona onde despejamos o solo dos vasos. Em seguida, adicionamos os fertilizantes de forma padronizada nos 24 vasos. Preparamos duas soluções: uma contendo todos os micronutrientes, exceto o cloreto de ferro, e outra contendo apenas o cloreto de ferro. Esse procedimento foi adotado para evitar a precipitação dos nutrientes em uma única solução. A aplicação dos nutrientes seguiu a seguinte ordem: primeiro, adicionamos KCl e ureia; depois, 100 ml da solução de micronutrientes; em seguida, 50 ml da solução de cloreto de ferro; e, por fim, aplicamos o tratamento específico para cada vaso. Cada tratamento foi aplicado em 8 vasos. Nas áreas que receberam *Flex Roots*, o produto foi aplicado diretamente sobre a semente. Foram plantadas 3 sementes em cada vaso e, após a germinação, foi selecionada a planta com mais vigor.

A irrigação foi totalmente manual, variando de acordo com a fase da planta. Inicialmente, os vasos foram pesados com acréscimo de 2 litros de água, atingindo o ponto de capacidade de campo ideal. Após determinar esse valor, os vasos foram pesados semanalmente para ajustar ao peso inicial de capacidade de campo. A análise química antes do plantio e adubação foi realizada para determinar a concentração de nutrientes no solo inicialmente, para comparação com uma análise química no final do experimento. Assim, foi possível determinar qual tratamento obteve melhor resultado na fertilidade do solo. O plantio foi realizado no dia 8 de março de 2023, com semeadura manual, deixando uma profundidade de sulco de 3 a 5 cm. Em seguida, foi realizada a aplicação do solubilizador de fósforo *Flex Roots*, calculado conforme as recomendações técnicas da bula, que para a cultura do milho recomenda duas aplicações de 1 litro de produto por hectare. As amostras de solo foram coletadas separadamente em cada vaso, consistindo em valores de matéria orgânica, pH em água, acidez potencial (H+Al), alumínio, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, soma de bases, saturação de bases,

saturação por alumínio e micronutrientes, de acordo com Embrapa (1991). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e analisados estatisticamente utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000), com teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a comparação das médias dos tratamentos.

Resultados

A matéria orgânica é fundamental para a saúde e fertilidade dos solos tropicais. De acordo com Alves (2014), “um solo rico em matéria orgânica tem melhor estrutura e estabilidade em seus agregados, evitando a erosão, favorecendo a retenção de água, reduzindo a compactação do solo pela mobilização excessiva de máquinas e animais e facilitando a infiltração”. A falta de matéria orgânica pode causar vários problemas, como a redução da capacidade de retenção de água e nutrientes, aumento da erosão e compactação do solo, além de diminuir a atividade microbiana, que é essencial para a ciclagem de nutrientes. Nos solos tropicais, a rápida decomposição da matéria orgânica devido às altas temperaturas e umidade podem agravar esses problemas, tornando os solos menos produtivos e mais suscetíveis à degradação.

Além disso, a matéria orgânica é crucial para melhorar a fertilidade do solo e o desenvolvimento das culturas. Segundo Khan *et al.* (2022), “a melhoria nos atributos de crescimento foi associada à melhoria na matéria orgânica do solo e na concentração de nutrientes”. Este estudo mostra como a adição de diferentes fertilizantes orgânicos pode aumentar a produtividade do milho, destacando a importância de práticas que aumentem a matéria orgânica no solo.

No experimento realizado, observamos que a combinação de um solubilizador de fósforo com três tipos de fertilizantes fosfatados (Super Triplo, Fosfato Natural Reativo e Termofosfato) resultou em diferenças significativas na ANOVA ($p = 0,0206$). Isso sugere que o efeito dos fertilizantes sobre a matéria orgânica depende da presença ou ausência do *Flex Roots*, sendo necessário a realização de um desdobramento para entender a influência em cada nível, como demonstrado na tabela 1.

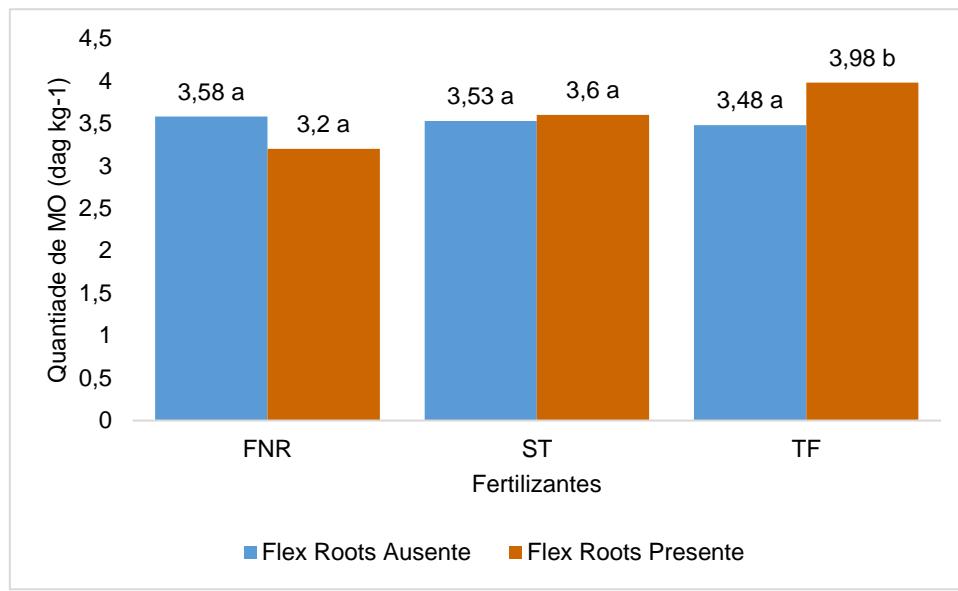
Tabela 1 - Desdobramento da interação entre as fontes fosfatadas e o *Flex Roots*, destacando a influência em níveis de matéria orgânica.

Matéria Orgânica (dag kg ⁻¹)			
	Com FR	Sem FR	Média Tratamentos
FNR	3,20a	3,58a	3,39a
Supertriplo	3,60ab	3,53a	3,57a
Termofosfato	3,98b	3,48a	3,64a
Média <i>Flex Roots</i>	3,6a	3,53a	

Fonte: o autor. FR - *Flex Roots*; FNR - Fósforo Natural Reativo.

Especificamente, o Termofosfato (TF) apresentou uma média significativamente maior de matéria orgânica no solo quando o *Flex Roots* estava presente, em comparação com os outros fertilizantes. O Super Triplo (ST) teve um desempenho intermediário, enquanto o Fosfato Natural Reativo (FNR) mostrou a menor média. Na ausência do *Flex Roots*, não houve diferenças significativas entre os fertilizantes. Com o fertilizante FNR, a ausência do *Flex Roots* resultou em uma média significativamente maior. Para o fertilizante ST, não houve diferença significativa entre os níveis de *Flex Roots*. Já com o fertilizante TF, a presença do *Flex Roots* resultou em uma média significativamente maior, como mostrado na Figura1.

Figura 1 - Gráfico de barra representando a interação do *Flex Roots* com os fertilizantes, evidenciando níveis de matéria orgânica.



FNR - Fósforo Natural Reativo; ST - Supertriplo; TF - Termofosfato; MO - Matéria Orgânica.

Fonte: O autor.

Na figura 1, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Esses resultados indicam que a interação entre o fertilizante e o *Flex Roots* é significativa, sugerindo que a eficácia do fertilizante depende da presença ou ausência do *Flex Roots*. Embora os fertilizantes e o *Flex Roots* sozinhos não tenham mostrado efeitos significativos, sua combinação teve um impacto notável. O Termofosfato (TF) se destacou em ambientes com *Flex Roots* presentes, mostrando-se uma opção promissora para melhorar a qualidade do solo em sistemas agrícolas tropicais, enquanto a diferença foi menos clara na ausência do *Flex Roots*. A análise de variância (ANOVA) foi seguida pelo teste de médias de Tukey a 5%, confirmando a significância dos resultados observados.

Discussão

Os resultados do experimento indicam que a interação entre os fertilizantes fosfatados e o solubilizador de fósforo *Flex Roots* desempenha um papel crucial na melhoria da matéria orgânica do solo. A análise de variância (ANOVA) revelou diferenças significativas ($p = 0.0206$) na matéria orgânica em função da presença ou ausência do *Flex Roots*, sugerindo que a eficácia dos fertilizantes é potencializada pela presença deste solubilizador. Uma possível explicação para esses resultados é que o *Flex Roots* pode aumentar a disponibilidade de fósforo no solo, facilitando a absorção pelos microrganismos e plantas. Isso é especialmente evidente no caso do Termofosfato (TF), que apresentou uma média significativamente maior de matéria orgânica quando combinado com o *Flex Roots*. Em contraste, o Fósforo Natural Reativo (FNR) mostrou uma média menor, possivelmente devido à sua menor solubilidade e disponibilidade imediata.

Estudos sobre a bioativação de fertilizantes mostram que a adição de solubilizadores pode influenciar a dinâmica de nutrientes e matéria orgânica no solo, promovendo uma maior eficiência de uso dos fertilizantes. Por exemplo, Smith *et al.* (2020) demonstraram que bioativadores como o *Flex Roots* podem aumentar a biodisponibilidade de nutrientes, o que pode explicar a interação observada. Além disso, a presença de substâncias húmicas, influenciada pelo *Flex Roots*, pode interagir com os fertilizantes, alterando as características físico-químicas do solo e impactando diretamente a matéria orgânica. A falta de diferenças significativas entre os fertilizantes na presença do *Flex Roots* pode indicar que este solubilizador melhora a eficiência dos fertilizantes, reduzindo as variações entre eles. Estudos de Jones *et al.* (2019) indicam que bioestimulantes podem nivelar o desempenho de diferentes fertilizantes, maximizando a utilização dos nutrientes presentes no solo.

Na ausência do *Flex Roots*, os fertilizantes não são suficientemente distintos em seu efeito sobre a matéria orgânica, possivelmente devido a uma limitação na capacidade do solo de processar os nutrientes sem a ajuda de um solubilizador. Este resultado é consistente com a literatura que sugere que em solos com baixa atividade biológica ou limitada retenção de nutrientes, os benefícios de diferentes fertilizantes podem ser suprimidos (BROWN, WILSON, 2018). O Termofosfato, em particular, se beneficia do *Flex Roots* para aumentar a matéria orgânica, o que pode ser explicado pela liberação gradual e prolongada de nutrientes pelo TF, criando condições mais favoráveis para o acúmulo de matéria orgânica. Estudos como o de Rodriguez *et al.* (2021) suportam essa interpretação, mostrando que a combinação de bioestimulantes com fertilizantes de liberação lenta pode ser especialmente eficaz.

Conclusão

A significância da interação entre fertilizantes e *Flex Roots* na matéria orgânica é um resultado-chave, sugerindo que a eficácia dos fertilizantes pode ser modulada pela presença do *Flex Roots*. Além disso, os diferentes efeitos observados para o TF indicam que a escolha do fertilizante, combinada com a adição de bioestimulantes, pode ser estratégica para o manejo da matéria orgânica no solo.

Referências

- ABRUZZINI, T. F. **Qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo em cultivo convencional e orgânico de cana-de-açúcar.** 2011. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2012. doi:10.11606/D.11.2012.tde10022012-103019. Acesso em: 19 ago. 2024.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ALVES, R. N. B.; A importância da matéria orgânica nos solos tropicais. **Portal EcoDebate**, 20 de out. 2014. Disponível em: <www.ecodebate.com.br/20141020a-importancia-da-materia-organica-nos-solos-tropicais-artigo-de-ramundo-nonato-brabo-alves>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- BROWN, D. F.; WILSON, A. R. Impact of low biological activity on fertilizer performance in different soil types. **International Journal of Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 45-58, 2018.
- COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho (Circular Técnica 78). **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais**, 2006. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/490410>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- CONAB. **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas#:~:text=Para%20o%20milho%20tamb%C3%A9m%20%C3%A9,do%20obtido%20no%20ciclo%20anterior>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- COSTA, M. S. S. DE M. *et al.* Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 810-815, ago. 2011.
- EMBRAPA. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo.** Coord. OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. 392p.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE

INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

JORHI, A. K. Fungal association and utilization of phosphate by plants: success, limitations, and future prospects. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 1-13, 2015.

JONES, L. A.; MARTIN, G.; SINGH, P. Enhancing fertilizer efficiency with bio-stimulants: A comparative study. **Agricultural Research**, v. 78, n. 4, p. 567-578, 2019.

KHAN, A. et al. Produtividade do milho e variações dos nutrientes do solo por meio da aplicação de vermicomposto e biocarvão. **PLOS ONE**, v. 17, n. 9, e0274149, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267483>. Acesso em: 16 ago. 2024.

MARQUES, K. R. et al. Bioativador de solo e planta e adubação fosfatada nas características de rendimento da cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e54111134159, 2022.

RODRIGUEZ, M.; LEE, S.; GARCIA, T. The synergistic effects of bio-stimulants and slow-release fertilizers on soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 94, p. 231-240, 2021.

SMITH, J. T.; JOHNSON, R.; KIM, H. Effects of bioactivators on nutrient availability in low-fertility soils. **Journal of Soil Science**, v. 85, n. 2, p. 123-134, 2020.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) pela cessão da estrutura física e laboratórios para realização do presente estudo.