

RESPOSTA DO MILHO AO USO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS E SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL

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

O estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do solubilizador de fósforo *FlexRoots* e diferentes fontes de fósforo no crescimento do milho, conduzido por 6 meses no CEUNES/UFES. O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados, com tratamentos que incluíram diferentes fertilizantes fosfatados e o *FlexRoots*. As avaliações mostraram que o fertilizante Super Simples (SS) foi significativamente mais eficaz na promoção da altura das plantas e no diâmetro do colmo, comparado ao Termofosfato (TF) e ao Fosfato Natural Reativo (FNR). O *FlexRoots* não teve um impacto significativo em relação à altura das plantas e ao diâmetro do colmo, indicando uma eficácia variável. Os resultados sugerem que o SS é superior para o crescimento inicial do milho, enquanto o *FlexRoots* pode ter relevância em outros contextos ou áreas do desenvolvimento da planta que requerem mais investigação.

Palavras-chave: *Flex Roots*. Crescimento de plantas. Sustentabilidade agrícola. Nutrição mineral de plantas.

Área do Conhecimento: Engenharia agrônoma - Agronomia.

Introdução

Na cultura do milho (*Zea mays* L.) é de extrema importância para a agricultura mundial, destacando-se tanto na alimentação humana quanto animal. No Brasil, a produção de milho tem crescido significativamente, com a safra 2022/23 atingindo 322,8 milhões de toneladas, conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Esse aumento reflete não apenas a expansão da área plantada, mas também melhorias na produtividade, que alcançou 4.111 kg/ha. Diante desse cenário de crescimento, torna-se essencial compreender as interações entre o milho e os nutrientes do solo, especialmente o fósforo (P), que é o terceiro nutriente mais demandado pela cultura (Coelho, 2006). O fósforo desempenha um papel crucial em processos vitais das plantas, como geração de energia, síntese de ácidos nucleicos e fotossíntese (Vance, Uhde-stone, Allan, 2003). Contudo, a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros, aliada à baixa mobilidade do fósforo no solo, impõe desafios significativos à agricultura (Raij *et al.*, 1982). A eficiência da aplicação de fertilizantes fosfatados é uma área de intenso estudo, uma vez que apenas uma pequena fração do fósforo aplicado é efetivamente utilizada pelas culturas, especialmente em solos tropicais (JORHI *et al.*, 2015).

Considerando os altos custos envolvidos na aplicação de fertilizantes, que representam uma parcela considerável dos gastos totais na produção agrícola, é fundamental explorar alternativas que aumentem a disponibilidade de fósforo para as plantas e otimizem o uso de fertilizantes. A utilização de microrganismos solubilizadores de fósforo (MSP) surge como uma estratégia promissora, pois esses organismos têm a capacidade de transformar o fósforo presente no solo em formas mais acessíveis às plantas. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a resposta do milho ao uso combinado de diferentes fertilizantes fosfatados e um solubilizador de fósforo durante o desenvolvimento inicial da planta, focando em parâmetros como altura e diâmetro do colmo. As hipóteses investigadas incluíram a possibilidade de o solubilizador de fósforo, quando associado a diferentes fertilizantes, influenciar ou não o crescimento das plantas de milho, e se determinados fertilizantes poderiam apresentar melhor desempenho quando utilizados em conjunto com o solubilizador de fósforo.

Metodologia

O estudo foi conduzido por um período de 6 meses, em área experimental 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 realizada em outubro de 2023, em profundidades de 0 – 20 cm e de 20 – 40 cm, onde logo em seguida foi feita a correção da acidez e nutricional do solo. O preparo de solo ocorreu 10 dias antes da semeadura, utilizando inicialmente uma roçadeira, depois com uma gradagem e, para finalizar, utilizou a enxada rotativa para deixar o solo destorroado. A adubação de plantio foi realizada conforme as orientações do Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação para cultura do milho. O delineamento experimental empregado para o estudo foi em blocos casualizados (DBC), com fatorial (2x3), totalizando, 6 tratamentos com 4 repetições. Sendo presença ou ausência do solubilizador de fósforo *FlexRoots*, com diferentes fontes de fósforo, sendo eles, o Super Simples, Termofosfato e Fosfato natural reativo (FNR). Cada parcela possuía 8 metros de comprimento e 3 metros de largura, com o espaçamento entre plantas de 0,2 metros e entre linhas de 0,8 metros. Tendo 10 linhas em cada parcela contendo aproximadamente 150 plantas, desconsiderando 50 cm dos limites das parcelas, a fim de minimizar o efeito de bordadura. Foram selecionadas aleatoriamente 5 plantas em cada área útil da parcela, totalizando 120 plantas avaliadas e acompanhadas até o final do experimento. O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão convencional com linha lateral de PVC, instalada em nível. O manejo da irrigação foi realizado com base na metodologia baseada em informações obtidas pelo tanque “classe A” e os dados de kC nos diferentes estágios da cultura. O plantio foi realizado dia 22 de abril de 2024 por meio de semeadura manual, com uma profundidade de sulco de 5 a 8 cm.

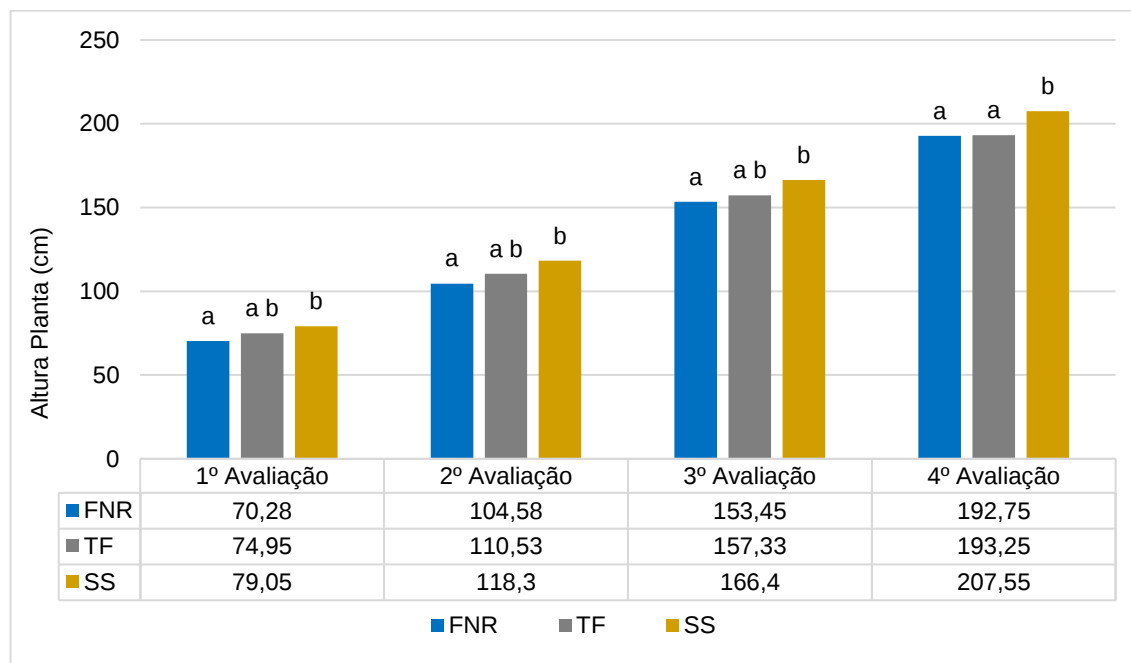
Para determinar o espaçamento, foi adotado uma média de 62.500 sementes por hectare, a semente utilizada foi a Seminis Semente Milho Híbrido Ag1051 de ciclo semiprecoce, após o plantio, foi aplicado a primeira dose do solubilizador *Flex Roots*, o produto foi pulverizado diretamente sobre as sementes antes da cobertura do solo com uma dosagem de 1 litro por hectare. Durante o ciclo de cultivo, que durou aproximadamente 100 dias, foram avaliados semanalmente a altura da planta (AP) que foi medida com uma trena, e o diâmetro do colmo (DC) que foi registrado com um paquímetro digital seguindo a metodologia semelhante à descrita por Souza (2021). Esses métodos foram utilizados para gerar curvas de crescimento temporal para cada um dos tratamentos. A segunda dose de *Flex Roots* foi aplicada em 4 de junho de 2024, 43 dias após a primeira aplicação, mantendo a mesma dosagem de 1 litro por hectare. As avaliações foram realizadas em diferentes datas ao longo do ciclo de cultivo. A primeira avaliação ocorreu em 24 de maio de 2024, a segunda em 31 de maio de 2024, a terceira em 7 de junho de 2024 e a quarta em 14 de junho de 2024. Essas avaliações permitiram um monitoramento contínuo do desenvolvimento das plantas.

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 e teste de regressão para as curvas temporais obtidas.

Resultados

Os resultados do estudo sobre a eficácia do solubilizador de fósforo *FlexRoots* e diferentes fontes de fósforo na cultura do milho revelam importantes conclusões sobre o impacto desses fatores no desenvolvimento inicial das plantas. As análises realizadas ao longo do experimento mostram que os fertilizantes têm um efeito significativo tanto na altura das plantas quanto no diâmetro do colmo, enquanto o *FlexRoots* não apresenta um efeito consistente e significativo. Na primeira avaliação da altura das plantas, os resultados demonstram uma diferença significativa entre os tipos de fertilizantes. Como mostrado na figura 1.

Figura 1- Média do crescimento de planta em relação ao fertilizante



Fonte: O autor. FNR - Fósforo Natural Reativo; ST - Supertriplo; TF – Termofosfato

Na figura 1, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O Fertilizante Super Simples (SS) apresentou uma altura média de 79,05 cm, significativamente maior do que o Fertilizante Termofosfato (TF) e o Fosfato Natural Reativo (FNR), que não diferem entre si (74,95 cm e 70,28 cm, respectivamente). Isso sugere que o Fertilizante SS é mais eficaz na promoção do crescimento inicial das plantas de milho. No entanto, o *FlexRoots* não teve um impacto significativo na altura das plantas (73,62 cm vs. 75,90 cm com e sem *FlexRoots*), corroborando com outros estudos que mostram a variável eficácia de solubilizadores de fósforo em diferentes contextos (MAIA, 2023). No que diz respeito ao diâmetro do colmo, as diferenças também são notáveis entre os fertilizantes como mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Médias do diâmetro do colmo em cada tratamento.

Fertilizantes	1ª Avaliação (cm)	2ª Avaliação(cm)	3ª Avaliação(cm)	4ª Avaliação(cm)
FNR	18.25 a	26.87 a	30.12 a	32.20 a
Termofosfato	19.14 a b	27.53 a	30.99 a	32.54 a
Super Simples	20.99 b	29.42 b	31.45 a	32.67 a
Flex Roots				
Com <i>FlexRoots</i>	18.82 a	27.20 a	30.36 a	32.22 a
Sem <i>FlexRoots</i>	20.09 a	28.67 b	31.34 a	32.72 a

Fonte: O autor. FNR - Fósforo Natural Reativo.

O Fertilizante SS resultou em um diâmetro médio de 20,99 cm, significativamente maior em comparação com o Fertilizante TF e o FNR. A aplicação do *FlexRoots* demonstrou um efeito negativo na 2ª avaliação, onde o diâmetro do colmo foi maior sem o *FlexRoots* (28.67 cm sem vs. 27.20 cm com). Esses resultados estão alinhados com estudos que destacam a importância do tipo de fertilizante no desenvolvimento estrutural das plantas de milho, impactando sua resistência e produtividade (Otoni,

2024). A interação entre os fertilizantes e o *FlexRoots* não se mostrou significativa na maioria das avaliações, sugerindo que os efeitos dos fertilizantes e do *FlexRoots* atuam de forma independente. Esse resultado é importante porque indica que a combinação de diferentes fontes de fósforo e o uso de solubilizadores podem não interagir de maneira a amplificar os benefícios esperados, como sugerido por autores que analisaram a sinergia entre diferentes práticas de fertilização (MAIA, 2023).

Em conclusão, o Fertilizante SS mostrou-se superior na promoção do crescimento da altura das plantas e no aumento do diâmetro do colmo, em comparação com os outros fertilizantes testados. O *FlexRoots*, apesar de não apresentar um efeito significativo na maioria das medições, pode ainda desempenhar um papel em contextos específicos ou em combinação com outras práticas. A importância de monitorar e ajustar o manejo dos fertilizantes e solubilizadores é essencial para otimizar o crescimento e a produtividade da cultura do milho, conforme evidenciado pelos resultados e pela literatura existente.

Discussão

A discussão dos resultados obtidos sobre a eficácia do solubilizador de fósforo *FlexRoots* e diferentes fontes de fósforo na cultura do milho traz insights significativos sobre o impacto desses fatores no desenvolvimento inicial das plantas. Os dados revelam que os fertilizantes utilizados têm um efeito considerável na altura das plantas e no diâmetro do colmo, enquanto o *FlexRoots* não apresentou um impacto consistente, sugerindo a necessidade de estudos mais específicos para entender seu papel em diferentes condições.

Como discutido por Otoni (2024), no que diz respeito ao diâmetro do colmo, a escolha criteriosa de fertilizantes não apenas influencia o desenvolvimento vegetativo, mas também exerce impactos substanciais na robustez e saúde global das plantas. Este fenômeno aponta para a complexidade interconectada dos efeitos dos fertilizantes, transcendendo simples estímulos de crescimento. Assim, a aplicação estratégica de fertilizantes pode não apenas promover o crescimento, mas também fortalecer a estrutura das plantas, conferindo-lhes maior resiliência e capacidade de adaptação a desafios ambientais. Fato esse que pode ser constatado no experimento, onde o fertilizante Super Simples (SS) se destacou, promovendo um crescimento superior das plantas de milho em comparação com o Termofosfato (TF) e o Fosfato Natural Reativo (FNR).

De acordo com a instrução normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018, os fertilizantes minerais comercializados no Brasil devem apresentar garantias mínimas. Para o fertilizante fosfatado (SS) Superfosfato Simples, deve conter 18% de P_2O_5 (fósforo total), 16% de Ca (cálcio) e 10% de S (enxofre). O fósforo presente é solúvel em citrato neutro de amônio mais água, com um mínimo de 16% solúvel em água. Os teores de cálcio e enxofre são totais. O produto é obtido por meio da reação da rocha fosfática moída com ácido sulfúrico. O superfosfato simples é um fertilizante fosfatado que possui alta solubilidade em água, o que facilita a disponibilidade do fósforo para as plantas. Essa característica é especialmente importante em solos tropicais, onde a fixação e precipitação do fósforo podem limitar sua disponibilidade" (BOSCHIERO, 2024). O que pode resultar em um crescimento mais vigoroso, especialmente em estágios iniciais de desenvolvimento. A maior disponibilidade de fósforo é essencial para o desenvolvimento inicial do milho, uma vez que este nutriente desempenha um papel crucial na divisão celular e no crescimento das raízes. Nesse contexto, é importante ressaltar que "as limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados" (YAMADA, 2004). Apesar da eficácia do SS, os resultados indicam que a aplicação do *FlexRoots* não trouxe benefícios significativos para o desenvolvimento da planta em termos de altura e diâmetro do colmo. Este achado corrobora com estudos anteriores que mostram que a eficácia dos solubilizadores de fósforo, como o *FlexRoots*, pode ser variável e altamente dependente das condições do solo e das características específicas das plantas. Mendes (2003) destaca que "o solo é um ambiente extremamente complexo e apresenta um poder tamponável em relação aos fatores bióticos, minimizando os efeitos da introdução de novos organismos". Van Veen (1997) complementa, afirmando que a resistência à introdução de organismos é atribuída a diversos fatores bióticos e abióticos, incluindo predação por protozoários e competição por substratos orgânicos e locais de proteção contra predadores. Além disso, fatores abióticos como textura, tipo de argila, temperatura, pH e disponibilidade de substratos orgânicos são críticos no declínio das populações bacterianas introduzidas no solo.

Esse comportamento foi evidente no experimento, onde o *FlexRoots* não alterou significativamente a altura das plantas ou o diâmetro do colmo.

É importante ressaltar que os fertilizantes fosfatados, por si só, são amplamente estudados e reconhecidos por seu papel fundamental na nutrição das plantas. No entanto, a introdução de solubilizadores como o *FlexRoots* abre novos horizontes para pesquisas futuras. De acordo com Daniel Bini e Maryeimy Varón Lopez no livro *Microbiologia do Solo* (2ª ed.), organizado por Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso e Fernando Dini Andreote, a combinação de microrganismos solubilizadores de fósforo (MSP) com diferentes fontes de fósforo pode levar a interações complexas que ainda não são completamente compreendidas, especialmente em relação a parâmetros como crescimento radicular, absorção de nutrientes e eficiência no uso de fósforo. Embora muitos estudos demonstrem a capacidade dos microrganismos em solubilizar fósforo em condições laboratoriais e em casa de vegetação, os resultados no campo frequentemente apresentam inconsistências. Isso se deve à falta de persistência e competitividade dos microrganismos no solo, bem como ao pouco conhecimento sobre os fatores que afetam o desenvolvimento desses microrganismos e das plantas em condições naturais. Além disso, a mineralogia e a química dos solos influenciam significativamente a ciclagem do fósforo, impactando a disponibilidade deste nutriente (BINI; LOPEZ, 2006). Esses resultados sugerem que, embora o *FlexRoots* não tenha mostrado efeitos significativos sobre a altura das plantas e o diâmetro do colmo, ele pode influenciar outros aspectos do desenvolvimento, como a estrutura radicular, que não foram abordados neste estudo.

Além disso, a pesquisa destaca a necessidade de investigações adicionais sobre o impacto dos MSP em diferentes características da planta, como o desenvolvimento das raízes, a eficiência na absorção de nutrientes e a resistência a estresses abióticos. Essa perspectiva abre caminho para novos estudos que explorem o potencial dos MSP em combinação com diferentes fertilizantes, visando maximizar o crescimento e a produtividade da cultura do milho.

Em suma, os resultados obtidos indicam que o fertilizante Super Simples é altamente eficaz na promoção do crescimento da altura das plantas e do diâmetro do colmo, enquanto o *FlexRoots* não demonstrou efeitos significativos nos parâmetros avaliados. No entanto, a combinação de diferentes fontes de fósforo com solubilizadores como o *FlexRoots* pode ter potencial em outras áreas do desenvolvimento da planta, destacando a importância de pesquisas futuras que explorem essas interações em maior profundidade.

Conclusão

O experimento revelou que o fertilizante Super Simples (SS) foi significativamente mais eficaz na promoção do crescimento inicial das plantas de milho, evidenciado pela maior altura e diâmetro do colmo em comparação com o Termofosfato (TF) e o Fosfato Natural Reativo (FNR). O *FlexRoots*, apesar de não apresentar um efeito consistente nas variáveis avaliadas, pode ainda ter relevância em contextos diferentes ou em combinação com outras práticas. Esses resultados ressaltam a importância da escolha do fertilizante e a necessidade de estudos adicionais para avaliar o impacto de solubilizadores de fósforo em outros aspectos do desenvolvimento das plantas.

Referências

MAIA, J. et al. CRESCIMENTO DE MILHO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS ASSOCIADOS A BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO. *Revista Sociedade e Ambiente*, v. 4, n. 3, p. 56-66, 2023.

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.

SOUZA, D. J. G. **O uso de fertilizantes organominerais para o desenvolvimento inicial do milho.** 2021. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

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.

OTONI, I.S. **CRESCIMENTO INICIAL DO MILHO COM DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO NO SULCO DE PLANTIO**. 2024.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 39**, de 8 de agosto de 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/insumos-agricolas/fertilizantes/instrucao-normativa-no-39-de-8-de-agosto-de-2018.pdf>.

BOSCHIERO, B. N. Superfosfato triplo, superfosfato simples, MAP e DAP. **Agroadvance**, 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-superfosfato-simples-triplo-map-e-dap/>.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. STIPP. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: **Associação Brasileira de Pesquisa de Potassa e Fósforo**, 2004.

VAN VEEN, J. A.; OVVERBEEK, L. S.; VAN ELSAS, J. D. Fate and activity of microorganisms introduced into soil. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 61, p. 121-135, 1997.

MENDES, L. C.; R. J, F. B. **Microorganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 26 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 85). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568171/1/doc85.pdf>.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221 p.

BINI, D.; LOPEZ, M. V. **Microbiologia do solo**. 2. ed. São Carlos: Editora da ESALQ, 2006. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/Microbiologia_solo.pdf.

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>.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.

RAIJ, B. V. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, **Instituto de Potassa & Fósforo**, Instituto Internacional da Potassa, 142, 1981.

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.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação**. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

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.