LODO DE CURTUME MODIFICA O ESTADO NUTRICIONAL DE MACRONUTRIENTES EM MUDAS DE LIMOEIRO 'CRAVO'

Tacisio Nunes Tudéia[1], Silvio de Jesus Freitas[1], Sávio da Silva Berilli[2], Osvaldo Sebastião de Oliveira Filho[1], Paulo Cesar dos Santos[3], Júlio Cézar da Silva Rosario[3], Isabelle Franco Dias Bonfim[3].

[1]Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia - 28013-602 - Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil. tacisiocops@hotmail.com, silvio@uenf.br, osvaldoosof@yahoo.com.br.
[2]Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, Alegre-ES, Brasil. savio.berilli@ifes.edu.br.
[3]Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Agronomia, Alto Universitário, s/n, Guararema - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil. paulo.santos.43@ufes.br, isabonfim29@gmail.com, Julio.rosario.agro@gmail.com.

Resumo

Objetiva-se avaliar o efeito de proporções crescentes de lodo de curtume desidratado no substrato sobre os teores de macronutrientes na parte aérea de mudas de limoeiro 'Cravo' (Citrus limonia Osbeck). Utiliza-se o delineamento em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos correspondem a 0; 0,5; 1; 3; 5; 10; 30 e 50% de lodo de curtume no substrato. Aos 45 dias após o transplantio, determina-se a composição mineral da parte aérea. Há efeito das proporções de lodo sobre nitrogênio, fósforo e magnésio, enquanto potássio, cálcio e enxofre não respondem aos tratamentos. O teor de nitrogênio aumenta de 20,8 g kg^{-1}, na ausência do resíduo, para 32,73 g kg^{-1}, com 50% de lodo. O fósforo diminui de 4,00 para 2,78 g kg^{-1} e o magnésio varia de 2,29 a 1,79 g kg^{-1} entre as menores e as maiores proporções. Conclui-se que o lodo aumenta o teor de nitrogênio, mas reduz fósforo e magnésio na parte aérea, evidenciando que sua utilização como componente do substrato exige avaliação do equilíbrio nutricional das mudas.

PALAVRAS-CHAVE: *Citrus limonia*. Nitrogênio. Fósforo. Magnésio. Resíduo industrial.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias - Agronomia.

Introdução

A qualidade do substrato interfere no crescimento e no estado nutricional de mudas cítricas. Além de sustentar a planta e armazenar água, o substrato controla a disponibilidade de nutrientes e as relações químicas que condicionam sua absorção. Por isso, um componente alternativo somente se torna agronomicamente adequado quando mantém condições físicas e químicas compatíveis com a formação do porta-enxerto (Fochesato et al., 2007). Nesse contexto, a porosidade e a retenção de umidade são determinantes para o desenvolvimento radicular, influenciando a absorção de água e nutrientes. Substratos com baixa capacidade de troca catiônica podem restringir a disponibilidade de nutrientes, comprometendo o crescimento inicial das mudas.

Além disso, o lodo de curtume apresenta em sua composição nutrientes como cálcio, enxofre, magnésio e potássio, que podem ser aproveitados pelas plantas, mas também contém metais pesados, especialmente o cromo, cujo acúmulo no substrato representa risco fitotóxico e ambiental (Bernardi et al., 2008; Cavalet; Selbach, 2008). A elevação da condutividade elétrica do substrato com o aumento das doses do resíduo pode comprometer a absorção de água e nutrientes pelas raízes, afetando o desenvolvimento das mudas. Estudos mostram que altas concentrações de lodo de curtume reduzem a nodulação em leguminosas e interferem na atividade microbiana do substrato, o que pode prejudicar a disponibilização de nutrientes essenciais (Teixeira et al., 2006). O sódio presente no lodo também contribui para o aumento da salinidade, exigindo monitoramento criterioso quando o resíduo é utilizado em altas proporções no substrato (Konrad; Castilhos, 2002; Cavalet; Selbach, 2008).

A concentração elevada de um nutriente no substrato não assegura maior absorção. Alterações de pH, interações entre íons e mudanças na disponibilidade efetiva podem produzir respostas distintas

entre o meio de cultivo e o tecido vegetal. Essa avaliação é particularmente importante em mudas, pois desequilíbrios durante a fase inicial podem comprometer a qualidade do material destinado à enxertia.

O limoeiro 'Cravo' apresenta rápido crescimento e ampla utilização como porta-enxerto. Assim, objetiva-se avaliar os teores de macronutrientes da parte aérea de mudas de limoeiro 'Cravo' cultivadas em substratos contendo proporções crescentes de lodo de curtume desidratado.

Metodologia

O experimento é conduzido em ambiente protegido no Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina, em Colatina, Espírito Santo. As mudas são produzidas inicialmente em tubetes de 50 cm³ com substrato comercial. Aos 84 dias após a semeadura, selecionam-se plantas uniformes, com 10 a 15 cm de altura, e realiza-se o transplantio para sacolas de polietileno.

Utiliza-se o delineamento em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída por oito mudas. A testemunha contém 79,5% de terra de barranco, 19,5% de esterco bovino curtido, 0,55% de superfosfato simples, 0,15% de cloreto de potássio e 0,2% de calcário dolomítico. Nos demais tratamentos, 0,5; 1; 3; 5; 10; 30 ou 50% dessa mistura são substituídos por lodo de curtume desidratado.

Aos 45 dias após o transplantio, coletam-se quatro mudas por unidade experimental. A parte aérea é separada do sistema radicular, seca em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C por 72 horas e moída. O nitrogênio é determinado após digestão sulfúrica pelo método de Nessler. Fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre são determinados após digestão com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio e leitura por espectrometria de emissão por plasma.

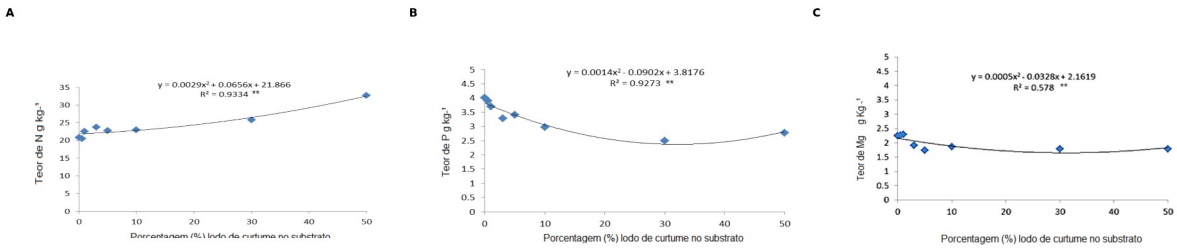
Os dados são submetidos à análise de variância. As médias são comparadas pelo teste de Tukey e, para as variáveis que se ajustam, realizam-se análises de regressão, adotando-se 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o Sistema de Análise Estatística (SANEST).

Resultados

As proporções de lodo de curtume alteram os teores de nitrogênio, fósforo e magnésio na parte aérea. Não há efeito sobre potássio, cálcio e enxofre, cujas médias gerais são, respectivamente, 21,76; 0,46 e 2,00 g kg^{-1}.

O nitrogênio apresenta resposta quadrática crescente. As mudas cultivadas sem o resíduo apresentam 20,8 g kg^{-1}, enquanto o tratamento com 50% de lodo apresenta 32,73 g kg^{-1}. O fósforo responde de forma quadrática e diminui de 4,00 g kg^{-1}, na testemunha, para 2,78 g kg^{-1}, na maior proporção. O magnésio também apresenta resposta quadrática, com valores de 2,29 a 1,79 g kg^{-1} entre as menores e as maiores proporções (Figura 1).

Figura 1 - Teores observados e regressões ajustadas de nitrogênio (A), fósforo (B) e magnésio (C) na parte aérea de mudas de limoeiro ‘Cravo’ em função da proporção de lodo de curtume no substrato, aos 45 dias após o transplantio.



Fonte: elaborado pelos autores.

A caracterização química do substrato mostra que o pH aumenta de 6,0 para 7,3 entre a testemunha e o tratamento com 50% de lodo. No mesmo intervalo, o fósforo disponível passa de 71,2 para 88,0 mg dm^{-3}, o cálcio aumenta de 3,90 para 15,8 cmolc dm^{-3} e o magnésio aumenta de 1,30 para 4,40 cmolc

dm^{-3}. Portanto, a redução de fósforo e magnésio na parte aérea ocorre mesmo com elevação desses elementos no substrato.

Discussão

O aumento do nitrogênio na parte aérea demonstra que a incorporação do lodo amplia o fornecimento desse nutriente ou favorece sua disponibilidade durante a formação das mudas. A matéria orgânica presente no resíduo constitui fonte potencial de nitrogênio mineralizável, com teores que podem chegar a 31 a 50 g kg^{-1} dependendo do tipo de lodo (Cavalet; Selbach, 2008; Lima, 2011). Contudo, os resultados não permitem separar a contribuição direta do nitrogênio do lodo das alterações químicas que o resíduo promove no substrato. A mineralização do N orgânico é influenciada pela atividade microbiana, que por sua vez pode ser afetada pela presença de metais pesados e pelo pH elevado do resíduo (Cavalet; Selbach, 2008).

O comportamento do fósforo evidencia que sua concentração no substrato não corresponde diretamente ao teor acumulado nos tecidos. Embora o teor disponível aumente na maior proporção de lodo, a concentração na parte aérea diminui. A elevação do pH modifica as formas químicas e as reações do fósforo no meio de cultivo e pode reduzir a fração efetivamente acessível às raízes (Bitencourt et al., 2022). Em solos com pH elevado, ocorre a precipitação do P em formas insolúveis de fosfato de cálcio (Bitencourt et al., 2022). Além disso, o balanço entre nutrientes influencia a absorção e o transporte interno do elemento.

A resposta do magnésio reforça essa interpretação. O teor no substrato aumenta mais de três vezes, mas a concentração na parte aérea diminui nas maiores proporções de lodo. Relações entre cátions, aumento do pH e maior concentração de sais podem restringir a absorção relativa de magnésio, mesmo quando sua quantidade química no substrato aumenta. O excesso de cálcio no lodo (podendo chegar a 179 g kg^{-1}) (Lima, 2011) pode inibir a absorção de magnésio por competição iônica. Como o magnésio integra a molécula de clorofila e participa do metabolismo energético, sua redução merece atenção na definição da proporção do resíduo (Cakmak; Yazici, 2010).

A ausência de resposta de potássio, cálcio e enxofre também mostra que o lodo não produz aumento uniforme de macronutrientes na planta. A avaliação do resíduo apenas como fonte de nutrientes pode, portanto, superestimar sua contribuição. A interpretação conjunta do substrato e dos tecidos é necessária para distinguir disponibilidade química, absorção e equilíbrio nutricional. Trabalhos com mudas de café e eucalipto demonstram que a resposta das plantas ao lodo de curtume é dependente da espécie e da dose aplicada (Bitencourt et al., 2022; Araujo et al., 2019).

Esses resultados não definem isoladamente uma proporção agronomicamente recomendada, pois a escolha também depende do crescimento, da salinidade, da estabilidade do substrato e do desempenho após a enxertia. Altas concentrações de sódio no lodo elevam a condutividade elétrica do substrato, que em níveis acima de 3500 µS cm^{-1} pode comprometer o crescimento das mudas e até causar a morte de plantas jovens (Bitencourt et al., 2022; Lima, 2011). O estresse salino aumenta o potencial osmótico do substrato, exigindo maior gasto de energia pela planta para absorver água e nutrientes (Bitencourt et al., 2022). Entretanto, demonstram que proporções elevadas exigem manejo nutricional específico, principalmente para evitar o aumento excessivo de nitrogênio e a redução de fósforo e magnésio.

Conclusão

O lodo de curtume desidratado modifica o estado nutricional de macronutrientes em mudas de limoeiro ‘Cravo’. O aumento da proporção do resíduo eleva o teor de nitrogênio e reduz os teores de fósforo e magnésio na parte aérea. Potássio, cálcio e enxofre não respondem aos tratamentos. A utilização do lodo como componente de substrato deve considerar o balanço entre nutrientes e não apenas sua concentração química no meio de cultivo.

Referências

ARAUJO, T. C.; FREITAS, S. J.; BRITO, P. M. B.; CALSSE, L. E.; GUIMARÃES, F. S.; FERREIRA, Y. C.; SOARES, L. P. S.; PEREIRA, L. C.; LEITE, I. O.; BERILLI, S. S. Teor nutricional de mudas de café conilon produzidas com substratos enriquecidos com lodo de curtume. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019, Vitória. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2019. 5 p.

BERNARDI, E.; MINOTTO, E.; NASCIMENTO, J. S. Aproveitamento de resíduo de curtume como suplemento no cultivo de Pleurotus ostreatus. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 75, n. 2, p. 231-235, 2008.

BITENCOURT, G. A.; DEKNES, L. B.; LAURA, V. A. Crescimento de mudas de eucalipto em solo com aplicação do lodo de curtume. **Scientia Plena**, v. 18, n. 3, 10 p., 2022. DOI: 10.14808/sci.plena.2022.034901.

CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnésio: um elemento esquecido na produção agrícola. **Informações Agronômicas**, n. 132, p. 14-16, 2010.

CAVALET, L. E.; SELBACH, P. A. Populações microbianas em solo agrícola sob aplicação de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 7, p. 2863-2869, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000700033.

FOCHESATO, M. L.; SOUZA, P. V. D. de; SCHÄFER, G.; MACIEL, H. S. Crescimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em substratos comerciais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 608-612, 2007.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 257-265, 2002.

LIMA, V. S. **Atributos químicos de um Cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de curtume contendo cromo**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

TEIXEIRA, K. R. G. et al. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1071-1076, 2006.

Agradecimentos

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Instituto Federal do Espírito Santo, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à empresa Capixaba Couros Ltda., pelo apoio à realização da pesquisa.