

Eficiência da adubação foliar no fornecimento de nutrientes às plantas

A adubação foliar explora a capacidade das folhas de absorver e transportar nutrientes, permitindo resposta fisiológica rápida. Este comunicado compara sua eficiência com a da adubação de solo e detalha, nutriente a nutriente, as perdas que explicam a diferença.

AUTOR

Renato Passos Brandão

Brandão Agro Consultoria

PUBLICAÇÃO

Ribeirão Preto, SP

18 de maio de 2026

1

Introdução

A adubação foliar consiste na aplicação dos nutrientes nas folhas das plantas, em forma de solução ou suspensão, explorando a capacidade das folhas em absorver e transportar os nutrientes.

Os nutrientes são absorvidos pelas folhas, permitindo uma rápida resposta fisiológica nas plantas.

A eficiência da adubação foliar nas plantas varia não só entre as espécies e cultivares, mas também com o estágio fenológico, estado fisiológico e com o ambiente. Conforme enfatizado por Fernández; Sotiropoulos; Brown (2015), entender essas diferenças nas respostas das plantas à adubação foliar é a chave para melhorar a eficácia e a reprodutividade do desempenho dos fertilizantes foliares.

2

Eficiência da adubação foliar

A adubação foliar dos nutrientes nas plantas é mais eficiente do que a adubação radicular e tem um enorme potencial de economia de fertilizantes principalmente para os micronutrientes (Tabela 1).

Tabela 1. Eficiência comparada da adubação foliar e adubação de solo no fornecimento dos nutrientes às plantas.

NUTRIENTE	FOLHA : SOLO
Nitrogênio (N)	1 : 1,5 a 2,0
Fósforo (P)	1 : 4 a 30
Potássio (K)	1 : 3 a 10
Magnésio (Mg)	1 : 50 a 100
Ferro (Fe)	1 : 75 a 100
Zinco (Zn)	1 : 10 a 20

Fonte: Adaptado de Malavolta (1981).

O P é o macronutriente com a maior eficiência da adubação foliar. A aplicação de 1 kg de P via foliar equivale a até 30 kg do nutriente aplicado no solo (Tabela 1).

Os micronutrientes são os elementos químicos essenciais às plantas, requeridos em pequenas quantidades da ordem de g/ha (Motta et al., 2007). O fornecimento dos micronutrientes pode ser feita via foliar às culturas, exceto o boro, nutriente imóvel no floema na grande maioria das espécies vegetais.

Mann (1999) verificou que a eficiência do Mn via foliar em soja era superior ao do Zn, ou seja, 1 kg do nutriente aplicado via foliar equivale a 23 kg aplicado no solo (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade média e produção relativa de soja com a aplicação do manganês no sulco de semeadura e via foliar em solo sob vegetação de cerrado no sul de Minas Gerais.

TRATAMENTOS	PRODUTIVIDADE ¹	PRODUÇÃO RELATIVA
	sc/ha	%
Controle	38,97	100
Mn no sulco: 3,5 kg/ha	49,98	128
Mn no sulco: 7,0 kg/ha	55,53	142
Mn via foliar (V8): 300 g/ha	54,73	140
Mn via foliar (V4+V8): 150 + 150 g/ha	57,53	148

¹ Média de produtividade de duas cultivares de soja: Conquista e Garimpo. Fonte: Adaptado de Mann (1999).

Os resultados que constam nas tabelas 1 e 2 podem ser explicados pelas perdas dos nutrientes aplicados no solo.

3

Eficiência da adubação foliar por nutriente

As principais perdas dos nutrientes aplicados no solo estão abaixo.

3.1 Nitrogênio (N)

O N destaca-se dos demais nutrientes por apresentar acentuado dinamismo no sistema solo-planta. Apresenta alta mobilidade no solo e as transformações que ocorrem no solo são mediadas por microrganismos (Furtini Neto et al., 2001).

A eficiência da adubação foliar com N é superior a adubação nitrogenada no solo. A aplicação de 1 kg de N via foliar equivale a até 2 kg do nutriente aplicado no solo (Tabela 1).

A redução nas perdas de N no solo são um dos maiores desafios da agricultura brasileira e mundial. Estima-se que cerca de 50% ou um pouco menos do N aplicado no solo é absorvido pelas culturas (Cantarella; Mattos Jr., 2022).

As quatro principais formas de perdas do N do solo são a lixiviação do nitrato, volatilização, desnitrificação e imobilização.

3.1.1 Lixiviação do nitrato

As formas minerais de N absorvida pelas plantas são o amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-) (Furtini Neto et al., 2001).

A forma predominante do N mineral em solo com a acidez corrigida é o nitrato. O amônio produzido pela mineralização do N orgânico ou adicionado ao solo através das adubações com a ureia e os fertilizantes amoniacais são convertidos para a forma nítrica, numa oxidação biológica denominado de nitrificação. É um processo biológico relativamente rápido em solos bem aerados, com umidade suficiente para a atividade microbiana e férteis com pH acima de 6,0 (Furtini Neto et al., 2001).

O nitrato tem carga negativa e baixa interação química com os minerais do solo, e está sujeito à lixiviação para as camadas subsuperficiais do solo, podendo atingir o lençol freático.

As chuvas intensas, irrigação excessiva e solos muito arenosos podem potencializar as perdas do nitrato por lixiviação, reduzindo a disponibilidade do N às plantas e reduzindo o potencial produtivo das culturas.

Entretanto, do ponto de vista nutricional é desejável a nitrificação de parte do amônio do solo para o nitrato. O suprimento de N na forma exclusiva do amônio é altamente indesejável para a grande maioria das espécies cultivadas, que tendem a preferir um suprimento de quantidades equivalentes das formas minerais de N (Guazzelli, 1988).

3.1.2 Volatilização

A volatilização é a perda do N para a atmosfera na forma gasosa de amônia (NH_3) (Furtini Neto et al., 2001).

As perdas do N na forma gasosa de amônia ocorre principalmente com a aplicação da ureia na camada superficial do solo. A ureia é o único fertilizante cuja hidrólise no solo é mediada pela urease. É uma enzima muito abundante no solo, presente em microrganismos, resíduos de plantas e no próprio solo, sendo muito estável em associação com as argilas e a matéria orgânica (Furtini Neto et al., 2001; Cantarella; Mattos Jr., 2022).

As altas temperaturas, solos úmidos sem a ocorrência de chuvas após a aplicação da ureia e presença de palhada na superfície do solo agravam as perdas do N por volatilização.

3.1.3 Desnitrificação

A desnitrificação é a redução microbiológica do íon nitrato para formas gasosas do nitrogênio (N_2 ou N_2O) que são perdidas para a atmosfera.

O teor de água no solo é fator crítico para a desnitrificação, uma vez que ocorre sob condições anaeróbicas. A desnitrificação ocorre em solos encharcados ou sob condições de alagamento (com pouco oxigênio) com perdas de até 80% do nitrato do solo oriundos na nitrificação ou adicionados através de fertilizantes nítricos.

A desnitrificação não é um fenômeno de ocorrência exclusiva de solos inundados ou mal drenados. A redução do nitrato (NO_3^-) também pode ocorrer em solos bem drenados, com anaerobiose localizada que pode ser intensificada com a compactação do solo. Em muitos ambientes de produção agrícola, mesmo em cultivos de sequeiro, as perdas de N por desnitrificação podem variar de 2 a 30% (Furtini Neto et al., 2001).

3.1.4 Imobilização

A imobilização é uma redução temporária na disponibilidade do N às plantas. É a conversão do nitrogênio mineral (N-NO_3^- e N-NH_4^+) presentes na solução

do solo, formas disponíveis de N às plantas, em N orgânico no protoplasma dos microrganismos heterotróficos, reduzindo a disponibilidade às plantas (Furtini Neto et al., 2001).

A imobilização do N mineral do solo ocorre com a decomposição pelos microrganismos de materiais orgânicos com alta relação C/N.

A relação C/N dos materiais orgânicos de aproximadamente 20:1 tem sido considerada como a linha divisória entre a imobilização e a liberação líquida do N denominada de mineralização.

Com a adição de materiais orgânicos no solo com relação C/N acima de 30:1, por exemplo palhada de gramíneas, há o predomínio da imobilização do N durante a fase inicial de decomposição, reduzindo a disponibilidade deste nutriente às plantas.

Para as relações C/N na faixa de 20:1 a 30:1, há um equilíbrio entre a imobilização e a mineralização.

Para resíduos orgânicos com relação C/N menor que 20:1, por exemplo palhada de leguminosas, há uma liberação líquida de N desde o início da decomposição pelos microrganismos do solo.

3.2 Fósforo (P)

A eficiência da adubação foliar com o P é muito superior a adubação de solo. Para cada 1 kg de P aplicado nas folhas equivale a até 30 kg do nutriente aplicado no solo (Tabela 1).

A dinâmica do P nos solos tropicais altamente intemperizados é complexa e é caracterizada por sua baixa mobilidade e alta taxa de fixação (Furtini Neto et al., 2001; Novais; Smyth; Nunes, 2007).

O íon fosfato é muito reativo com os demais íons e óxidos nos solos. A eficiência do P aplicado no solo no 1º ano varia de 5 a 20% (Favarin et al., 2013).

Em solos ácidos, a precipitação do P ocorre com as formas iônicas do Fe e Al e é adsorvido pelos óxidos de Fe e Al. Em solos neutros e alcalinos, o íon fosfato reage com o Ca formando compostos com baixa solubilidade em água (Novais; Smyth; Nunes, 2007).

A correção da acidez do solo mantendo o pH na faixa de 5,8 a 6,3, plantio direto com maior aporte de matéria orgânica, menor revolvimento do solo, adubação fosfatada localizada no sulco de semeadura e adubação com fertilizantes organominerais são manejos que reduzem a fixação do P e aumentam a disponibilidade às plantas.

3.3 Potássio (K)

O K é um nutriente catiônico (K^+) e pode ser perdido por lixiviação notadamente em solos com baixa capacidade de retenção catiônica (CTC) e em regiões com chuvas concentradas em um determinado período ano, reduzindo a disponibilidade às plantas (Furtini Neto et al., 2001).

3.4 Cálcio (Ca)

O Ca é um nutriente absorvido pelas plantas na forma química catiônica, Ca^{2+} . As perdas mais significativas do Ca ocorrem por lixiviação em solos ácidos.

3.5 Magnésio (Mg)

O Mg é um nutriente absorvido pelas plantas na forma química catiônica, Mg^{2+} . Em solos tropicais úmidos, os teores de Mg são inferiores aos teores de Ca e superiores aos teores de K. As perdas de Mg por lixiviação podem ser significativas, notadamente em solos ácidos, reduzindo a disponibilidade às plantas.

A absorção do Mg pelas plantas é afetada pelos demais cátions com destaque para o K. Quanto maior é o teor de K no solo, menor é absorção de Mg pelas plantas, podendo induzir deficiência nas plantas.

3.6 Enxofre (S)

O S é um nutriente absorvido pelas plantas na forma química aniônica, SO_4^{2-} . O efeito residual das adubações com o S é baixo, ocorrendo perdas significativas por lixiviação (Furtini Neto et al., 2001).

3.7 Boro (B)

O B é um micronutriente absorvido pelas plantas na forma química de ácido bórico (H_3BO_3) (Furtini Neto et al., 2001). Em solos com pH mais elevado pode ser também absorvida pelas plantas na forma química de borato (H_2BO_3^-). O efeito residual das adubações com o boro no solo é baixo, ocorrendo perdas significativas por lixiviação.

3.8 Micronutrientes catiônicos

Atualmente, há cinco elementos químicos classificados como micronutrientes catiônicos: cobre (Cu^{2+}), ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}), níquel (Ni^{2+}) e zinco (Zn^{2+}).

A disponibilidade dos micronutrientes do solo às plantas é afetada pelo material de origem, pH do solo, potencial de oxirredução, teor de matéria orgânica e as interações com outros nutrientes (Bataglia, 1988; Motta et al., 2007).

3.8.1 Material de origem

O teor total de micronutrientes no solo varia com o material de origem e os processos de formação. Conforme revisão de literatura de Bataglia publicada em 1988 há uma correlação entre os teores totais de Cu, Mn e Zn e os teores solúveis em extratores químicos que simulam a capacidade de absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas, demonstrando a importância do material de origem na disponibilidade dos micronutrientes às plantas.

Os solos derivados de rochas básicas (por exemplo basalto) possuem os teores totais mais elevados de micronutrientes, exceto o boro, enquanto que os solos derivados de arenitos e de sedimentos modernos arenosos, por

exemplo os Argissolos, são aqueles com menores teores de micronutrientes, exceto o boro. Os maiores teores de boro são encontrados em solos derivados de rochas sedimentares · calcário, arenito e folhelho (Bataglia, 1988).

3.8.2 pH do solo

O pH do solo é um dos principais fatores que controla a disponibilidade dos micronutrientes às plantas. A disponibilidade dos micronutrientes às plantas é reduzida com o aumento do pH do solo, exceto para o Cl e o Mo (Figura 1). Há a formação de compostos com baixa solubilidade em água.

A calagem elevando o pH do solo em água para próximo de 6,0, reduz a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos às plantas, mas de maneira geral, não causa deficiência destes nutrientes nas plantas. Entretanto, em solos derivados de rochas com baixos teores de micronutrientes, por exemplo, os Argissolos, as calagens podem induzir deficiências nas culturas, podendo reduzir a produtividade das culturas.

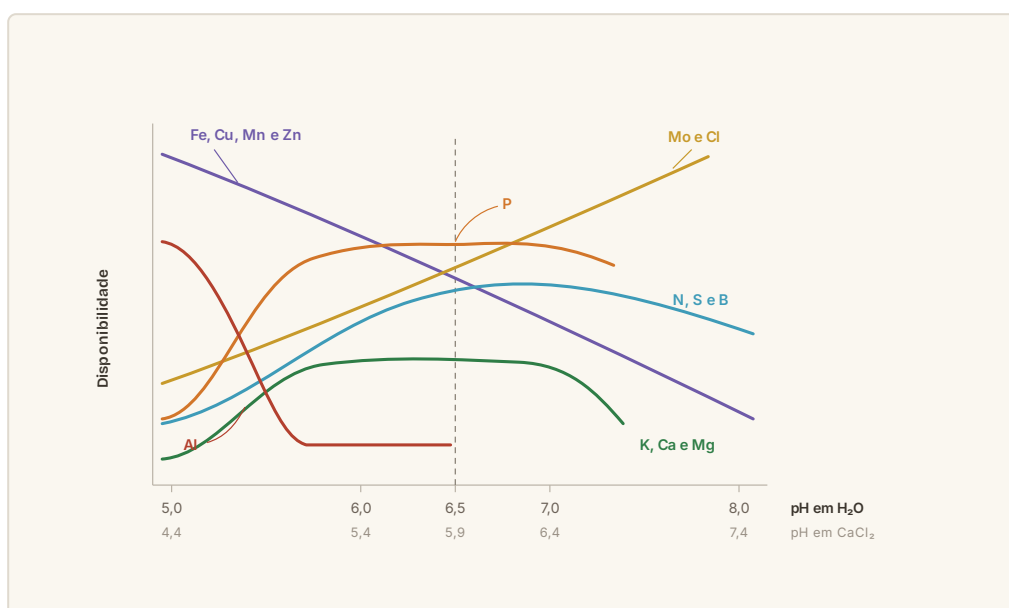


Figura 1. Efeito do pH na disponibilidade dos micronutrientes às plantas. Fonte: Adaptado de Malavolta (1981).

3.8.3 **Potencial de oxirredução**

A disponibilidade do ferro e manganês às plantas é afetada pelo potencial de oxirredução do solo (Motta et al., 2007).

Os solos bem drenados e arejados (maiores teores de oxigênio e menores teores de umidade) tem maiores potenciais de oxirredução ocorrendo a oxidação de Fe e Mn para formas químicas não disponíveis às plantas (Fe^{3+} e Mn^{4+} , respectivamente) e dependendo do teor do solo pode causar deficiência nas culturas (Motta et al., 2007; Borkert, 2001).

Em solos inundados ou naqueles com baixos teores de oxigênio e maiores teores de umidade, ocorre a redução do potencial de oxirredução, reduzindo as formas químicas do ferro e manganês para Fe^{2+} e Mn^{2+} , respectivamente, formas químicas disponíveis às plantas (Borkert, 2001).

3.8.4 **Matéria orgânica**

Os compostos orgânicos do solo têm alta afinidade por nutrientes metálicos, dentre os quais os micronutrientes catiônicos. Os ácidos húmicos formam complexos muito estáveis com os micronutrientes catiônicos reduzindo a disponibilidade às plantas, enquanto os ácidos fúlvicos e demais compostos orgânicos aumentam a disponibilidade desses nutrientes às plantas.

Dentre os micronutrientes catiônicos, o Cu é aquele que interage mais fortemente com os compostos orgânicos do solo, formando complexos extremamente estáveis, especialmente com ácidos húmicos.

3.8.5 **Teor de argila**

A disponibilidade do Zn às plantas é afetada pelo teor de argila do solo. A adsorção do Zn é máxima em solos com maiores teores de argila. A calagem em solos argilosos tende a aumentar ainda mais a adsorção do Zn nos coloides minerais (Abreu et al., 2001).

4

Considerações finais

A adubação foliar consiste na aplicação dos nutrientes nas folhas das plantas, em forma de solução ou suspensão, explorando a capacidade das folhas em absorver e transportar os nutrientes.

A adubação foliar dos nutrientes nas plantas é mais eficiente do que a adubação radicular e tem um enorme potencial de economia de fertilizantes principalmente para os micronutrientes. Para cada 1 kg de zinco e manganês aplicados via foliar equivale a até 20 kg do mesmo nutriente aplicado no solo.

As principais perdas dos nutrientes aplicados no solo estão abaixo.

- **Nitrogênio:** lixiviação do nitrato, volatilização, desnitrificação e imobilização;
- **Fósforo:** fixação (precipitação pelos íons Fe e Al e adsorção nos óxidos de Fe e Al);
- **Potássio, cálcio, magnésio e boro:** lixiviação;
- **Micronutrientes catiônicos:** pH do solo, potencial de oxirredução (Fe e Mn), matéria orgânica (Cu) e teor de argila (Zn).

5

Literatura consultada

- ABREU, C. A. de; FERREIRA, M. E.; BORKERT, C. M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. de (Eds.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. 2021. Jaboticabal. p. 125-150. 2001.
- BATAGLIA, O. C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (Eds.). Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina. Anais. p. 121-132. 1988.
- CANTARELLA, H.; MATTOS JR., D. Nitrogênio. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van (Eds.). Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, SP. p. 86-94, 2022.
- FAVARIN, J. L.; PAULA NETO, A.; TEZOTTO, T.; MARTINS, P. O.; TEIXEIRA, P. P. C. Correção do magnésio no solo é essencial ao cafeeiro. 2013.

- FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo. São Paulo: Abisolo, 2015. 150p.
- FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; RESENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de A. Fertilidade do solo. Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.
- GUZZELLI, E. M. F. M. Efeito de nitrato e amônio no crescimento, assimilação e eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro na fase inicial de crescimento. Lavras: ESAL, 1988. 90p. (Dissertação de Mestrado).
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: Adubos e adubação. São Paulo: Editora Ceres, 1981. 596 p.
- MANN, E. N. Efeito da adubação com manganês, via solo e foliar em diferentes épocas, no rendimento de grãos e na qualidade da semente de soja. Lavras: UFLA, 1999. 68 p. (Tese · Mestrado em Fitotecnia).
- MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; REISSMANN, C. B.; DIONÍSIO, J. A. Micronutrientes na rocha, no solo e na planta. Curitiba: Edição do autor, 2007. 246p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-500.

Renato Passos Brandão

Brandão Agro Consultoria

RIBEIRÃO PRETO, SP · 18 DE MAIO DE 2026