# RELAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO MINERAL E QUALIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS: UMA BREVE REVISÃO

**Autores: Aline Vieira da Silva[1]. Daniel Ferreira Leal[1]. Bianca Callegari Freitas[1]. Vanessa Moura Cardoso[1].**

[1]Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/n, 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, alinevdasilva1998@gmail.com, danielleal942@gmail.com, bianca.callegarifreitas@outlook.com, vanessa.m.cardoso@edu.ufes.br.

**Resumo**
A nutrição mineral constitui um importante fator relacionado à qualidade dos produtos agrícolas, influenciando características físicas, químicas e nutricionais. Esta revisão teve como objetivo discutir a relação entre o fornecimento de nutrientes e a qualidade dos produtos agrícolas, com ênfase nos macro e micronutrientes, na qualidade pós-colheita e na biofortificação agronômica. Foi realizada uma revisão bibliográfica narrativa, com buscas no Google Acadêmico, SciELO, ScienceDirect, SpringerLink, Frontiers in Plant Science e MDPI, utilizando descritores em português e inglês relacionados à nutrição mineral e qualidade agrícola. Os estudos analisados demonstraram que os efeitos da fertilização sobre a qualidade variam conforme o nutriente, a cultura e as condições de cultivo. A literatura também evidenciou a importância dos micronutrientes para atributos qualitativos e o potencial da biofortificação agronômica, especialmente com zinco, para elevar o valor nutricional dos produtos. Conclui-se que o manejo equilibrado da nutrição mineral deve considerar, além da produtividade, os atributos de qualidade desejados para cada cultura.
**Palavras-chave**: Pós-colheita. Macronutrientes. Micronutrientes. Valor nutricional.

**Área do Conhecimento:** Ciências agrárias, agronomia.

## Introdução

A qualidade dos produtos agrícolas apresenta diferentes dimensões, que podem variar de acordo com a espécie cultivada e a finalidade de utilização, envolvendo características físicas, químicas, técnicas, sensoriais e nutricionais (Kutman, 2023). A nutrição mineral é um dos fatores relacionados a essas características, uma vez que os nutrientes minerais participam dos processos essenciais ao crescimento, desenvolvimento e metabolismo das plantas (Malavolta, 1980; Marschner, 1995). Dessa forma, a condição nutricional das plantas pode influenciar a composição e a qualidade dos produtos agrícolas (Kutman, 2023).

A influência da adubação mineral sobre a qualidade nutricional dos produtos agrícolas foi demonstrada em uma meta-análise global que reuniu 7.859 pares de dados provenientes de 551 estudos realizados em condições de campo. Os resultados indicaram aumento médio de 30,9% na produtividade e de 11,9% na qualidade nutricional das culturas após a aplicação de fertilizantes, considerando componentes como carboidratos, proteínas, óleo, vitamina C, nutrientes minerais e sólidos solúveis, a partir do °Brix (Ishfaq *et al.*, 2023). Segundo o estudo, as respostas foram dependentes do nutriente e da espécie cultivada, sendo observada maior contribuição de potássio, magnésio e micronutrientes para a qualidade nutricional (Ishfaq *et al.*, 2023). Além disso, as exigências nutricionais para obtenção da máxima produtividade podem não coincidir com aquelas necessárias para alcançar a melhor qualidade do produto (Kutman, 2023).

Entre os nutrientes minerais, os micronutrientes apresentam importante relação com a qualidade de culturas hortícolas, uma vez que, o fornecimento equilibrado desses elementos pode influenciar características como tamanho, coloração, sabor, valor nutricional e concentração de compostos bioativos, além de contribuir para a redução de perdas pós-colheita e para a extensão da vida útil dos produtos (Ahmed *et al*., 2024). Entretanto, a resposta às aplicações de micronutrientes depende da cultura, do elemento utilizado e da estratégia ou modo de aplicação, incluindo formas de fornecimento via solo, foliar e através da fertirrigação (Ahmed *et al.*, 2024). Nesse contexto, o manejo da nutrição

mineral deve considerar simultaneamente as necessidades nutricionais das plantas e os atributos de qualidade desejados para cada cultura (Kutman, 2023).

A biofortificação agronômica constitui uma estratégia de manejo capaz de aumentar a concentração de nutrientes essenciais nas partes comestíveis das plantas. No caso do zinco, uma revisão recente sobre a agricultura brasileira reuniu estudos envolvendo diferentes fontes, doses e métodos de aplicação do nutriente, incluindo aplicações via solo e foliar, biofertilizantes e nanofertilizantes, destacando seu potencial para aumentar a concentração de zinco nos produtos agrícolas e contribuir para a qualidade nutricional das culturas (Silva *et al*., 2025). Além disso, resultados recentes também demonstram a necessidade de equilibrar a nutrição mineral com a produtividade e demais atributos de qualidade. Por exemplo, em tomateiro, diferentes estratégias de biofortificação com micronutrientes foram avaliadas quanto à concentração mineral dos frutos, produtividade e características de qualidade, evidenciando respostas associadas ao manejo empregado (Stoeva *et al.*, 2026).

Diante desse contexto, a relação entre nutrição mineral e qualidade dos produtos agrícolas deve ser considerada de forma integrada, pois as respostas à adubação podem variar conforme o nutriente, a cultura e as condições de produção (Ishfaq *et al.*, 2023). A compreensão dessas relações é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo que conciliem produtividade, qualidade nutricional e demais atributos de interesse dos produtos agrícolas (Kutman, 2023). Assim, esta revisão teve como objetivo discutir a relação entre a nutrição mineral de plantas e a qualidade dos produtos agrícolas, considerando a influência dos nutrientes sobre as características físicas, químicas, nutricionais e de pós-colheita, bem como o potencial do manejo nutricional para a melhoria da qualidade dos produtos.

**Metodologia**

O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica, desenvolvida com o objetivo de reunir e discutir evidências científicas sobre a relação entre a nutrição mineral das plantas e a qualidade dos produtos agrícolas. A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de buscas nas bases do Google Acadêmico e Scientific Electronic Library Online (SciELO), complementadas pela consulta às plataformas ScienceDirect (plataforma da Elsevier), SpringerLink (plataforma da Springer Nature), Frontiers in Plant Science e Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI, que publica periódicos como Plants), além de periódicos científicos e livros relacionados à nutrição mineral, qualidade de produtos agrícolas e biofortificação. Também foram consultados capítulos de livros e obras clássicas da área, como Elementos de Nutrição Mineral das Plantas, de Malavolta (1980), e Mineral Nutrition of Higher Plants, de Marschner (1995).

As buscas foram realizadas utilizando, de forma isolada e combinada, os descritores em português e inglês: nutrição mineral de plantas, qualidade de produtos agrícolas, qualidade nutricional, macro e micronutrientes, qualidade pós-colheita, biofortificação agronômica, plant mineral nutrition, crop quality, nutritional quality of crops, micronutrients and crop quality, postharvest quality e agronomic biofortification. Foram priorizados trabalhos científicos diretamente relacionados à influência da nutrição mineral sobre características físicas, químicas e nutricionais dos produtos agrícolas, além de estudos envolvendo qualidade pós-colheita e biofortificação agronômica.

Foram considerados artigos científicos, revisões bibliográficas, meta-análises, capítulos de livros e obras de referência pertinentes ao tema, com prioridade para publicações recentes, especialmente aquelas disponíveis entre 2023 e 2026, sem excluir referências clássicas relevantes para a fundamentação dos conceitos de nutrição mineral do período de 1980 a 2026. Entre os trabalhos selecionados, destacam-se estudos sobre a relação entre fertilização e qualidade nutricional de culturas, micronutrientes e qualidade de produtos hortícolas, cálcio e qualidade de frutos, biofortificação agronômica com zinco no Brasil e biofortificação com micronutrientes em tomateiro (Ishfaq *et al*., 2023; Ahmed *et al*., 2024; Jaime-Guerrero *et al*., 2024; Silva *et al.*, 2025; Stoeva *et al*., 2026).

Após a seleção das publicações pertinentes à revisão bibliográfica, foi realizada a leitura e análise do conteúdo, buscando identificar as principais relações entre o estado nutricional das plantas e atributos de qualidade dos produtos agrícolas. As informações foram organizadas de acordo com os principais aspectos abordados na literatura, incluindo efeitos da nutrição mineral sobre características físicas e químicas, qualidade nutricional, qualidade pós-colheita e biofortificação agronômica. A análise foi conduzida de forma qualitativa e narrativa, integrando os resultados encontrados na literatura com os fundamentos clássicos da nutrição mineral de plantas.

**Resultados e Discussão**

Os estudos analisados demonstram que a nutrição mineral exerce influência direta sobre diferentes atributos físicos, químicos, nutricionais e fisiológicos dos produtos agrícolas, sendo seus efeitos dependentes do nutriente fornecido, da cultura, do estádio de desenvolvimento e das condições de cultivo. A meta-análise conduzida por Ishfaq *et al*. (2023), reunindo 551 estudos e 7.859 pares de dados, evidenciou que a fertilização mineral promoveu aumento médio de 30,9% na produtividade e de 11,9% na qualidade nutricional das culturas. Entretanto, os autores destacam que a resposta varia entre espécies e nutrientes, indicando que o manejo nutricional deve buscar não apenas elevados rendimentos, mas também a otimização dos atributos qualitativos dos produtos.

Entre os macronutrientes, o nitrogênio exerce papel fundamental por integrar aminoácidos, proteínas, enzimas e clorofila, favorecendo o crescimento vegetal e o acúmulo de compostos nitrogenados. Porém, seu fornecimento excessivo pode prolongar o crescimento vegetativo, reduzir a firmeza dos tecidos, aumentar o teor de água dos frutos e diminuir sua capacidade de armazenamento, tornando-os mais suscetíveis a danos mecânicos e ao desenvolvimento de doenças no pós-colheita. Assim, o equilíbrio no suprimento de nitrogênio representa um dos principais fatores para conciliar produtividade e qualidade comercial dos produtos agrícolas (Malavolta, 1980; Taiz *et al*., 2017).

O fósforo participa diretamente do metabolismo energético celular por meio da síntese de ATP, sendo indispensável para a formação de sementes e frutos e para o desenvolvimento radicular. Entretanto, sua contribuição para a qualidade dos produtos ocorre principalmente de forma indireta, ao favorecer o estabelecimento das plantas e o enchimento dos órgãos de reserva. O potássio, por sua vez, apresenta relação mais evidente com atributos de qualidade, visto que esse elemento atua na regulação osmótica, abertura estomática, transporte de fotoassimilados e ativação enzimática. Essas funções favorecem o acúmulo de açúcares, sólidos solúveis, compostos relacionados ao sabor, coloração e qualidade industrial, além de contribuírem para maior resistência ao transporte e ao armazenamento. Segundo Kutman (2023), o potássio se classifica como um dos nutrientes que mais influenciam a qualidade nutricional e comercial das culturas, resultado validado pela meta-análise de Ishfaq *et al.* (2023), que identificou respostas significativas desse nutriente sobre os atributos qualitativos das plantas.

Os atributos qualitativos apresentam aplicação direta na comercialização e no processamento dos produtos agrícolas. Em frutas, características como firmeza, coloração, teor de sólidos solúveis, acidez e vida útil determinam a aceitação pelo consumidor e a qualidade pós-colheita, enquanto em cereais a concentração de proteínas e micronutrientes, como o zinco, está relacionada ao valor nutricional. Dessa forma, a nutrição mineral adequada contribui para a obtenção de produtos com maior qualidade, valor agregado e competitividade, evidenciando que o manejo nutricional deve ser direcionado aos atributos desejados para cada cultura (Saltzman, 2017; Cakmak e Kutman, 2018; Kutman, 2023; Ahmed *et al*., 2024).

O cálcio apresenta destaque entre os macronutrientes por sua atuação estrutural na formação das paredes celulares e na estabilidade das membranas plasmáticas, sendo determinante na firmeza, na resistência mecânica e na conservação pós-colheita dos frutos. Sua deficiência está associada à ocorrência de distúrbios fisiológicos como podridão apical em tomateiros (também chamado de fundo preto) e *bitter pit* em maçãs (mancha escura na casca, sabor amargo, e polpa esponjosa), comprometendo significativamente a qualidade comercial. Além disso, Jaime-Guerrero *et al.* (2024) ressalta que o adequado suprimento de cálcio reduz perdas pós-colheita e prolonga a vida útil dos frutos ao retardar processos de degradação celular. O magnésio, componente central da molécula de clorofila, mantém elevada eficiência fotossintética e favorece o acúmulo de fotoassimilados, enquanto o enxofre participa da síntese de aminoácidos sulfurados e proteínas, influenciando características relacionadas à composição química e ao valor nutricional dos produtos (Marschner, 1995).

Os micronutrientes exercem funções regulatórias essenciais em diversos processos metabólicos, refletindo diretamente na qualidade dos produtos agrícolas. Ferro, zinco, manganês e boro participam da atividade enzimática, da fotossíntese, da divisão celular e do metabolismo de carboidratos, influenciando características como tamanho, coloração, firmeza, teor de compostos bioativos e valor nutricional. A revisão conduzida por Ahmed *et al.* (2024) demonstra que o fornecimento equilibrado de micronutrientes em culturas hortícolas melhora atributos físicos e nutricionais dos produtos, reduz

perdas pós-colheita e aumenta sua vida útil. Os autores destacam ainda que a resposta depende da espécie cultivada, da fonte utilizada, da dose aplicada e da estratégia de fornecimento, seja via solo, aplicação foliar ou fertirrigação, evidenciando a necessidade de programas de adubação específicos para cada sistema produtivo.

A influência da nutrição mineral torna-se ainda mais evidente durante o pós-colheita, quando o estado nutricional das plantas interfere diretamente na manutenção da integridade dos tecidos vegetais. O adequado suprimento de cálcio e potássio reduz a incidência de distúrbios fisiológicos, preserva a firmeza dos frutos, minimiza perdas de água e retarda processos de senescência, favorecendo maior período de armazenamento e melhor aceitação comercial (Saure, 2005; Jaime-Guerrero *et al*., 2024). Dessa forma, a qualidade pós-colheita deve ser considerada um dos principais indicadores da eficiência do manejo nutricional adotado durante o ciclo produtivo.

Outro aspecto amplamente discutido na literatura refere-se à biofortificação agronômica, estratégia que utiliza o manejo nutricional mineral para aumentar a concentração de nutrientes essenciais nas partes comestíveis das plantas. O zinco destaca-se como um dos micronutrientes de maior interesse devido à elevada prevalência de sua deficiência na alimentação humana. Segundo Bouis e Saltzman (2017) e Cakmak e Kutman (2018), a biofortificação com zinco em cereais representa uma alternativa eficiente para elevar o valor nutricional dos alimentos sem comprometer a produtividade. No contexto brasileiro, Silva *et al.* (2025) demonstram que diferentes estratégias de aplicação, incluindo a aplicação via solo, pulverização foliar, uso de biofertilizantes e nanofertilizantes, apresentam potencial para aumentar a concentração de zinco nos produtos agrícolas. Resultados de trabalhos recentes obtidos em tomateiro também indicam que programas de biofortificação devem equilibrar nutrição mineral, produtividade e atributos de qualidade dos frutos, evidenciando que o sucesso dessa estratégia depende do manejo nutricional empregado (Stoeva *et al*., 2026).

De maneira integrada, as evidências a partir dos estudos analisados demonstram que a nutrição mineral não deve ser interpretada apenas como ferramenta para maximizar a produtividade, mas como um dos principais fatores determinantes da qualidade física, química, nutricional e tecnológica dos produtos agrícolas. Sendo assim, a adoção de programas de adubação baseados nas exigências nutricionais específicas de cada cultura e orientados para a qualidade representa uma estratégia capaz de agregar valor aos produtos, reduzir perdas pós-colheita e contribuir para sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

## Conclusão

A literatura analisada demonstra que a nutrição mineral apresenta relação direta com a qualidade dos produtos agrícolas, influenciando características físicas, químicas, nutricionais e aspectos relacionados à conservação pós-colheita. Os efeitos dependem do nutriente, da cultura, das condições de cultivo e do manejo empregado, evidenciando que o fornecimento equilibrado dos elementos minerais é fundamental para conciliar produtividade e qualidade. Entre os macronutrientes e micronutrientes, diferentes elementos desempenham funções essenciais na formação e composição dos produtos, enquanto a biofortificação agronômica, especialmente com zinco, apresenta potencial para aumentar a concentração de nutrientes essenciais nas partes comestíveis das plantas. Conclui-se, que o manejo da nutrição mineral deve considerar as exigências específicas de cada cultura e os atributos de qualidade desejados, não se restringindo à maximização da produtividade, mas buscando integrar eficiência nutricional, produção e qualidade dos produtos agrícolas.

## Referências

AHMED, N. *et al.* Micronutrients and their effects on horticultural crop quality, productivity and sustainability. **Scientia Horticulturae**, v. 323, 112512, 2024. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112512.

BOUIS, H. E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global Food Security**, v. 12, p. 49–58, 2017.

CAKMAK, I.; KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 172–180, 2018. DOI: 10.1111/ejss.12437.

ISHFAQ, M. *et al.* Improvement of nutritional quality of food crops with fertilizer: a global meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, art. 74, 2023. DOI: 10.1007/s13593-023-00923-7.

JAIME-GUERRERO, M.; ÁLVAREZ-HERRERA, J. G.; FISCHER, G. Effect of calcium on fruit quality: a review. **Agronomía Colombiana**, v. 42, n. 1, e112026, 2024. DOI: 10.15446/agron.colomb.v42n1.112026.

KUTMAN, U. B. Mineral nutrition and crop quality. In: RENGEL, Z.; CAKMAK, I.; WHITE, P. J. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of plants.** 4. ed. London: Academic Press, 2023. p. 419–444. DOI: 10.1016/B978-0-12-819773-8.00020-4.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995.

SAURE, M. C. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. **Scientia Horticulturae**, v. 105, p. 65–89, 2005.

SILVA, A. B. P. *et al*. Technologies in agronomic biofortification with zinc in Brazil: a review. **Plants**, v. 14, n. 12, 1828, 2025. DOI: 10.3390/plants14121828.

STOEVA, V.; ATANASOVA, V.; MAROVSKA, G.; GROZEVA, S.; TRINGOVSKA, I. Agronomic biofortification in tomato: balancing micronutrient enrichment, yield, and fruit quality. **Frontiers in Plant Science,** v. 17, 1835095, 2026. DOI: 10.3389/fpls.2026.1835095.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

**Agradecimentos**

À Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Expressamos também nossa gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGAG/UFES), pelo apoio institucional e suporte ao desenvolvimento deste trabalho, bem como à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo à pesquisa e ao fortalecimento da produção científica.