

# CIRCULAR TÉCNICA

n. 406 - julho 2024

ISSN 0103-4413

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Departamento de Informação Tecnológica  
Av. José Cândido da Silveira, 1647 - União - 31170-495  
Belo Horizonte - MG - www.epamig.br - Tel. (31) 3489-5000

**EPAMIG**  
Pesquisa Agropecuária

AGRICULTURA,  
PECUÁRIA E  
ABASTECIMENTO



**MINAS  
GERAIS**

GOVERNO  
DIFERENTE.  
ESTADO  
EFICIENTE.

## Biofortificação genética e biofortificação agrônômica<sup>1</sup>

*Patriciani Estela Cipriano<sup>2</sup>, Fábio Aurélio Dias Martins<sup>3</sup>, Aurinelza Batista Teixeira Condé<sup>4</sup>,  
Felipe Aiura Namoratto<sup>5</sup>, Maila Adriely da Silva<sup>6</sup>, Gustavo Ferreira de Sousa<sup>7</sup>, Guilherme Lopes<sup>8</sup>,  
Luiz Roberto Guimarães Guilherme<sup>9</sup>*

### INTRODUÇÃO

Com previsão de um aumento significativo da população mundial em um futuro próximo, a demanda por alimentos também está destinada a crescer de forma considerável (Saath; Fachinello, 2018). Diante dessa projeção preocupante, torna-se extremamente importante garantir não apenas o aumento da produção, mas também a sustentabilidade e a qualidade dos alimentos, a fim de atender às futuras demandas da população global. Para alcançar este objetivo, é fundamental aumentar os investimentos em práticas agrícolas sustentáveis e buscar constantemente inovações na produção de alimentos. Deve-se ter uma abordagem não apenas voltada para a quantidade, mas também para a diversidade e o equilíbrio nutricional. A alimentação desempenha um papel essencial na manutenção da saúde, fornecendo os nutrientes necessários para o bom funcionamento do corpo.

A nutrição é fundamental para o progresso e a evolução dos seres humanos, sendo imprescindível assegurar a ingestão adequada de proteínas, gordu-

ras, carboidratos, vitaminas e minerais, em qualidade e quantidade suficientes para preservar a vitalidade do organismo. Manter uma alimentação balanceada é essencial para garantir que o corpo obtenha todos os nutrientes essenciais, promovendo um estado ótimo de bem-estar físico e mental. Além disso, uma alimentação saudável é crucial para prevenir enfermidades e fortalecer o sistema imunológico.

Diante desse cenário, a biofortificação é uma estratégia que se concentra principalmente em enriquecer nutrientes em culturas básicas ricas em amido, como arroz, trigo, milho, sorgo, milho-miúdo, batata-doce e leguminosas. Essas culturas desempenham um papel fundamental nas dietas ao redor do mundo, especialmente para grupos vulneráveis que sofrem de deficiências de micronutrientes. Além disso, oferecem uma maneira viável de fornecer variedade de alimentos e suplementos para populações subnutridas, mesmo com recursos limitados. Isso contribui para melhorar a qualidade de vida e saúde das pessoas, alcançando um impacto significativo (Saltzman *et al.*, 2013).

Apoio FAPEMIG e CNPq.

<sup>1</sup>Circular Técnica produzida pela EPAMIG Sul, (35) 3821-6244, epamigsul@epamig.br.

<sup>2</sup>Engenheira-agrônoma, D.Sc., Programa de Pós-Graduação Ciência do Solo, Lavras, MG, patricianiestela@gmail.com.

<sup>3</sup>Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Pesq. EPAMIG Sul - CELA, Lavras, MG, fabio.aurelio@epamig.br.

<sup>4</sup>Engenheira-agrônoma, D.Sc., Pesq. EPAMIG Sul - CELA, Lavras, MG, aurinelza@epamig.br.

<sup>5</sup>Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Programa de Pós-Graduação Ciência do Solo, Lavras, MG, filipe.namorato@gmail.com.

<sup>6</sup>Engenheira-agrônoma D.Sc., Programa de Pós-Graduação Ciência do Solo, Lavras, MG, m.adriely@hotmail.com.

<sup>7</sup>Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Programa de Pós-Graduação Ciência do Solo, Lavras, MG, gustavoferreira\_s@hotmail.com.

<sup>8</sup>Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Prof. Adj. UFLA - Depto. Ciência do Solo, Bolsista PQ 2 CNPq, Lavras, MG, guilherme.lopes@ufla.br.

<sup>9</sup>Engenheiro-agrônomo, Ph.D., Prof. Tit. UFLA - Depto. Ciência do Solo, Bolsista PQ 1A CNPq, Lavras, MG, guilherm@dcs.ufla.br.

## BIOFORTIFICAÇÃO

Conforme informações da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), mais de 2 bilhões de indivíduos ao redor do planeta estão sofrendo com carências nutricionais preocupantes (FAO *et al.*, 2017). Segundo Moraes (2008), a falta de ferro (Fe), iodo (I), selênio (Se), vitamina A e zinco (Zn) é um grande desafio para a saúde da população, destacando-se em nações em desenvolvimento. A incorporação de Se, Zn e Fe tem-se tornado proeminente em estudos relacionados com a agricultura, em razão da importância crucial desses elementos no crescimento das plantas.

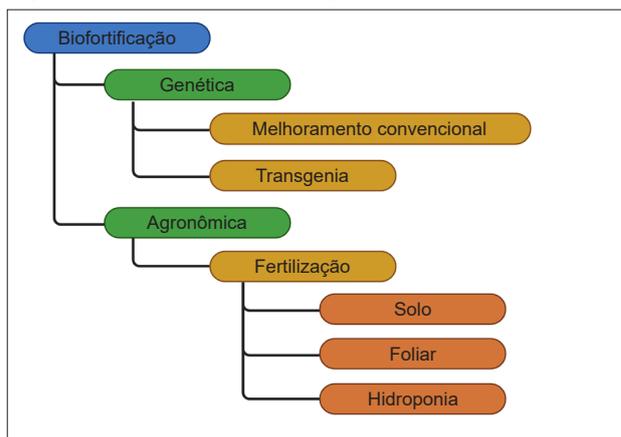
A biofortificação é uma prática fundamental na redução desse problema, pois consiste em aumentar a concentração de minerais e vitaminas em culturas agrícolas, por meio da fertilização ou melhoramento genético, para atender às necessidades humanas e animais (Cakmak, 2008; Graham *et al.*, 2007). Essa abordagem pode ser fundamental para enfrentar a carência de micronutrientes em populações vulneráveis, especialmente em regiões onde a dieta baseia-se principalmente em culturas básicas com baixo valor nutricional.

Conforme Cakmak (2008), a biofortificação engloba um conjunto de estratégias que buscam abordagens mais sustentáveis, econômicas e eficazes para aprimorar as concentrações de nutrientes ou elementos benéficos nos grãos. Isso é alcançado por meio da biofortificação genética, ou seja, pela seleção de materiais geneticamente mais adaptados pelo melhoramento genético e pela biofortificação agrônômica, que consistem em práticas que melhoram a disponibilidade desses elementos para as plantas. Como por exemplo, aplicação de fertilizantes específicos, capazes de aumentar a concentração de nutrientes nas plantas (Fig. 1).

### Biofortificação genética

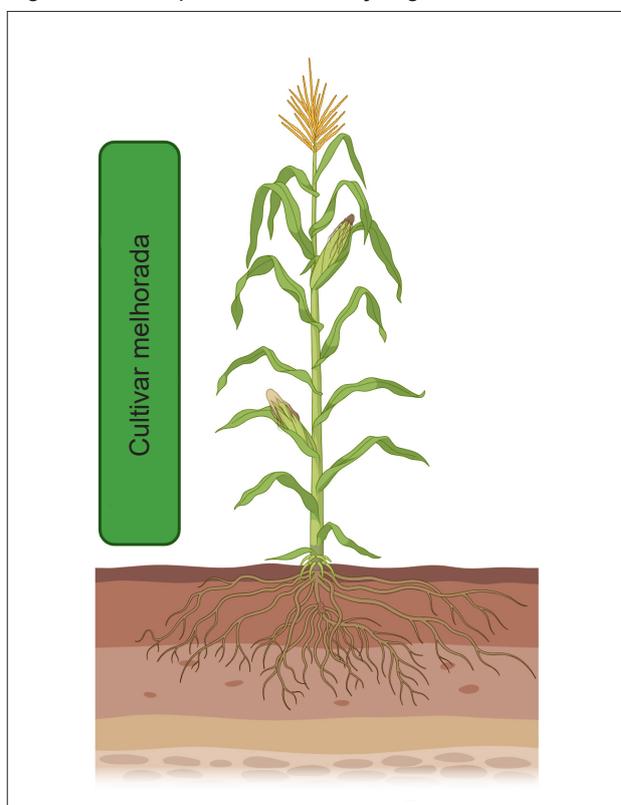
A biofortificação genética é uma técnica que visa produzir alimentos com níveis mais elevados de vitaminas e minerais, por meio da manipulação genética e do melhoramento de plantas (Fig. 2). Esta técnica consiste no cruzamento planejado de plantas com o objetivo de obter uma combinação ideal de genes. Dessa forma, é possível promover uma absorção equilibrada de nutrientes e aumentar a biodisponibilidade dessas substâncias (Zulfiqar *et al.*, 2024). Nesse processo, são selecionadas espécies e variedades que possuem maior capacidade de me-

Figura 1 - Tipos de biofortificação



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 2 - Exemplo de biofortificação genética



Fonte: Elaboração dos autores.

tabilizar e armazenar esses nutrientes, resultando em produtos alimentares mais nutritivos e saudáveis para consumo humano (Reis *et al.*, 2014).

Além disso, a biofortificação genética inclui métodos inovadores, como reprodução acelerada, abordagens transgênicas, técnicas de edição genômica e abordagens ômicas integradas. Essas várias estratégias têm em conjunto o objetivo de aprimorar o perfil nutricional das culturas, abordando também a redução dos componentes antinutricionais presentes nos alimentos por meio da biofortificação genética (Zulfiqar *et al.*, 2024).

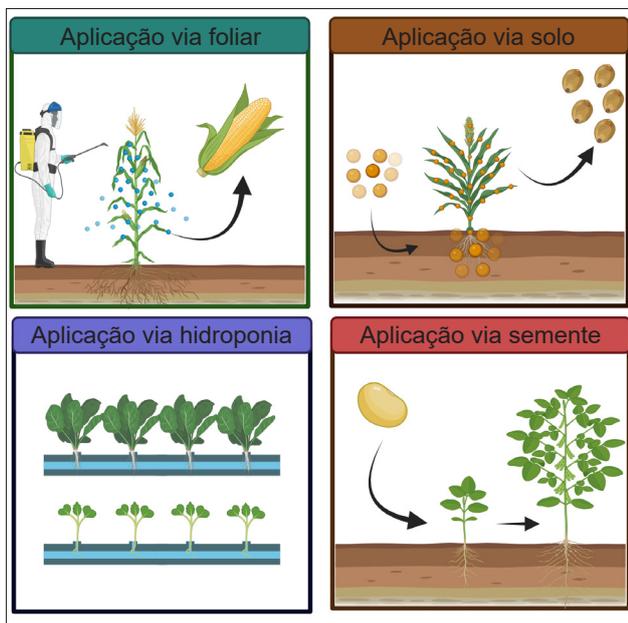
O objetivo desse método é oferecer uma abordagem mais sustentável e econômica em comparação com a suplementação e a fortificação tradicionais após a colheita. Além disso, procura atender a populações que têm acesso limitado aos sistemas de mercado e de saúde (Graham *et al.*, 2007; Reis *et al.*, 2014).

No entanto, a biofortificação genética por si só não é capaz de garantir o aumento dos níveis de determinados elementos, como o Se, nas plantas. Isso ocorre em razão da escassez de Se nos solos agrícolas, incluindo a maioria dos solos brasileiros, que não possuem quantidades adequadas desse elemento para suprir as necessidades das plantas.

### Biofortificação agrônômica

A biofortificação agrônômica envolve a prática de fornecer nutrientes para as plantas por meio de técnicas agrícolas, como adubação do solo ou foliar. Dessa forma, a adoção de fontes de Se na agricultura surge como uma opção viável para suprir essa necessidade, e isso pode ser alcançado principalmente por meio da utilização de fertilizantes comerciais (Reis *et al.*, 2014). Existem várias formas de biofortificação agrônômica de culturas (Fig. 3) de interesse com Se, tais como: adição em cultivo hidropônico; aplicação via foliar; embebição de sementes por solução rica em Se antes de serem semeadas; adubação via solo; fertilizantes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) enriquecidos (Cakmak, 2008).

Figura 3 - Técnicas aplicadas à biofortificação agrônômica



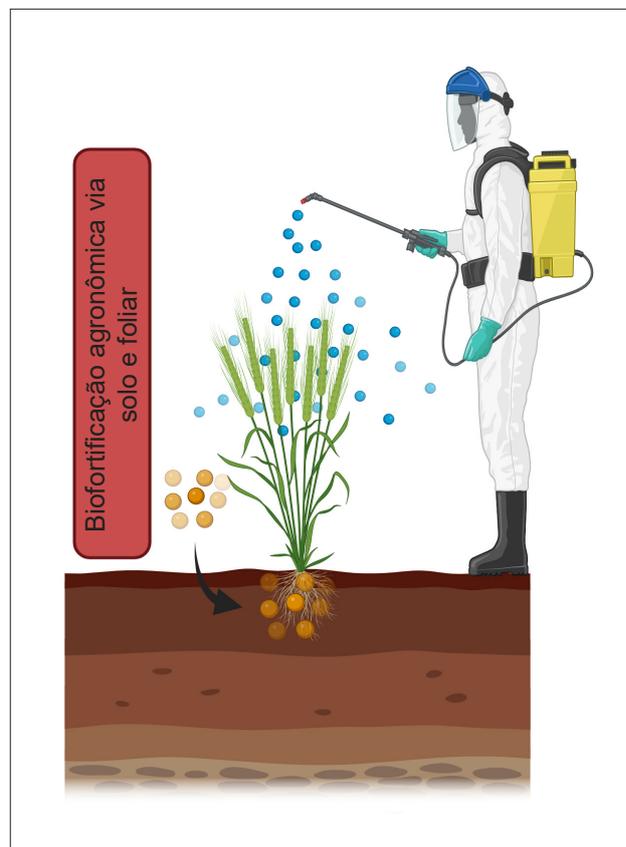
Fonte: Adaptado de Bhardwaj *et al.* (2022).

Segundo Bhardwaj *et al.* (2022), a aplicação foliar e o cultivo em hidroponia oferecem melhorias significativas na eficiência do uso de micronutrientes, em comparação com a aplicação no solo. Além disso, essas técnicas permitem alcançar níveis relevantes de biofortificação. Os avanços nessas tecnologias têm ressaltado a importância crucial da biofortificação agrônômica para enriquecer os micronutrientes.

De fato, diversos estudos têm comprovado que a junção de ambas as estratégias deve ser levada em conta para potencializar a eficácia dos programas de biofortificação (Corguinha *et al.*, 2019) (Fig. 4). É possível que, em solos com baixas quantidades de um elemento específico, seja necessário adotar ambas as estratégias. Recomenda-se, portanto, aplicar fertilizantes e cultivar um genótipo que tenha a capacidade de absorver e acumular esse elemento em seus tecidos, especialmente na parte comestível (Cakmak, 2008).

Portanto, o uso de espécies com maior capacidade de acumulação em conjunto com a aplicação de fertilizantes minerais é a estratégia ideal para aumentar tanto o valor nutricional das plantas quanto o seu rendimento em solos de baixa fertilidade (Graham *et al.*, 2007) (Fig. 4).

Figura 4 - Combinação das técnicas de biofortificação genética e biofortificação agrônômica



Fonte: Elaboração dos autores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É crucial promover a diversidade alimentar para combater a falta de nutrientes essenciais, mas é lamentável que nem todos tenham acesso a essa variedade, principalmente em nações em desenvolvimento e subdesenvolvidas. Numerosas pesquisas científicas têm comprovado de forma consistente que a biofortificação agrônômica é altamente efetiva no enriquecimento de plantas e de suas partes comestíveis, com a finalidade de fornecer micronutrientes essenciais que podem desempenhar um papel crucial no combate à desnutrição em todo o mundo.

Investir no desenvolvimento das técnicas de biofortificação agrônômica é fundamental para o sucesso da biofortificação genética e transgênica. Por meio da prática da biofortificação agrônômica, é viável assegurar o fornecimento de micronutrientes essenciais para as culturas geneticamente biofortificadas, que têm grande demanda por esses nutrientes. É primordial que a biofortificação agrônômica seja uma prioridade absoluta, para garantir que as culturas sejam enriquecidas com micronutrientes essenciais, combatendo, assim, a fome oculta.

Além disso, a biofortificação agrônômica também desempenha um papel fundamental na melhoria da saúde e bem-estar das populações que dependem dessas culturas como fonte de alimento. Ao disponibilizar micronutrientes essenciais de maneira mais acessível, essa abordagem tem o potencial de combater a deficiência de nutrientes e reduzir os impactos negativos da fome oculta. Portanto, é essencial investir em pesquisas e programas que promovam a adoção generalizada da biofortificação agrônômica em todo o mundo.

## REFERÊNCIAS

- BHARDWAJ, A.K. *et al.* Agronomic biofortification of food crops: an emerging opportunity for global food and nutritional security. **Frontiers in Plant Science**, v.13, Dec. 2022.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, v.302, p.1-17, 2008.
- CORGUINHA, A.P.B. *et al.* Potential of cassava clones enriched with  $\beta$ -carotene and lycopene for zinc biofortification under different soil Zn conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.99, n.2, p.666-674, Jan. 2019.
- FAO *et al.* **The state of food security and Nutrition in the World 2017: building resilience for peace and food security**. Rome: FAO, 2017. 30p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-I7695e.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2024.
- GRAHAM, R.D. *et al.* Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v.92, p.1-74, 2007.
- MORAES, M.F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n.123, p.21-23, set. 2008.
- REIS, A.R. dos *et al.* Biofortificação agrônômica com selênio no Brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v.8, n.2, p.128-138, dec. 2014.
- SAATH, K.C. de O.; FACHINELLO, A.L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v.56, n.2, p.195-212, abr./jun. 2018.
- SALTZMAN, A. *et al.* Biofortification: progress toward a more nourishing future. **Global Food Security**, v.2, n.1, p.9-17, Mar. 2013.
- ZULFIQAR, U. *et al.* Genetic biofortification: advancing crop nutrition to tackle hidden hunger. **Functional & Integrative Genomics**, v.24, Feb. 2024. Article 34.