

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Agronomia

AGRICULTURA NO COMBATE A FOME OCULTA

Joice Caroline Rocha Vieira

Joice Caroline Rocha Vieira

AGRICULTURA NO COMBATE A FOME OCULTA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia

Orientador: Prof. Luiz Arnaldo Fernandes

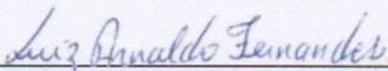
Montes Claros
Instituto de Ciências Agrárias - UFMG
2022

Joice Caroline Rocha Vieira. **AGRICULTURA NO COMBATE A FOME OCULTA**

Aprovada pela banca examinadora constituída por:

Prof. Delacyr da Silva Brandão Júnior – ICA/UFMG

José Victor Mauricio de Jesus – Mestrando - UFLA



Prof. Luiz Arnaldo Fernandes – Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 13 de julho de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por terem feito tudo o que estava ao alcance deles para que eu pudesse concluir este ciclo.

Aos mestres, em especial meu orientador, pela disponibilidade, apoio e conhecimento compartilhado.

Aos meus colegas, principalmente minha amiga Laura, obrigada pelo companheirismo e por tornar os dias mais leves.

A Deus, pela oportunidade de vivenciar tudo isso.

E a arte, por ser o meu refúgio quando tudo parecia difícil demais.

RESUMO

A deficiência de micronutrientes é um problema que afeta cerca de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo, principalmente aquelas em vulnerabilidade social. Parte desse problema está associado ao consumo insuficiente de alimentos ricos em nutrientes e na prevalência de uma dieta composta unicamente por alimentos básicos, na qual não conseguem suprir as necessidades nutricionais do corpo. Dessa forma, a biofortificação surgiu como uma técnica a ser utilizada para o enriquecimento de culturas naturalmente pobres em micronutrientes, e vem sendo adotada amplamente por pesquisadores ao redor do mundo como estratégia complementar ao combate à chamada Fome Oculta. Devido aos crescentes interesses nessa estratégia, diversas questões acerca da sua viabilidade e efetividade vem sendo levantadas, assim como suas vantagens e desvantagens. Levando em conta que o sucesso de sua aplicação em um país não necessariamente expressa sua eficiência nos demais, diversas características regionais, culturais, e principalmente de solo, devem ser levadas em consideração. As culturas biofortificadas convencionalmente que já foram desenvolvidas, vem se demonstrando uma alternativa econômica e de fácil aceitabilidade, já a biofortificação transgênica apesar de promissora, possui baixa aceitabilidade por parte dos consumidores. O enriquecimento via fertilizante é considerado o método mais rápido e fácil de ser realizado, principalmente por nutrientes de grande mobilidade no solo e na planta, como o zinco e o selênio. Assim, a biofortificação, demonstra eficiência no aumento do acúmulo de nutrientes nas partes comestíveis das plantas e até mesmo no aumento da produtividade das culturas. No entanto, diante das variações dessa técnica é necessário o desenvolvimento de pesquisas a fim de caracterizar os métodos, a interação desses nutrientes no corpo humano e no solo e seus impactos na agro-biodiversidade. Assim a realização de revisões bibliográficas a fim de reunir informações já divulgadas, é de grande auxílio na promoção dessas pesquisas.

Palavras-chave: Micronutriente. Biofortificação genética. Biofortificação agronômica. Cereais. Hortaliças. Culturas básicas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Batata-doce <i>Beauregard</i>	15
Figura 2	Estrutura morfológica de um grão de arroz	18
Figura 3	Arroz Transgênico rico em betacaroteno (Arroz Dourado)	19
Quadro 1	Relação dos alimentos ricos em selênio	22
Quadro 2	Resultados obtidos na biofortificação de selênio em hortaliças	25
Quadro 3	Alimentos ricos em zinco e seus teores médios	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

IIPS – *International Institute for Population Sciences*

DALY - *Disability Adjusted Life Years*

GHS - Glutathione

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 METODOLOGIA	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1 Fome Oculta	11
3.2 Biofortificação	13
3.2.1 Biofortificação Convencional e Transgênica	17
3.2.2 Biofortificação Agronômica	20
3.2.2.1 Selênio	22
3.2.2.2 Zinco	25
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS	30

1 Introdução

A fome oculta atinge mais da metade da população mundial (WHO, 2002), e pode afetar tanto países desenvolvidos, quanto países subdesenvolvidos (HORTON; ROSS, 2003). Essa carência ocorre pelo consumo insuficiente de culturas naturalmente ricas em vitaminas e minerais (BOUIS; SALTZMAN, 2017), na qual pode estar relacionada à uma má educação alimentar por parte da população (QAIM *et al.*, 2007), e/ou pela inacessibilidade à alimentos nutritivos, como frutas e verduras (BOUIS; SALTZMAN, 2017).

Como a agricultura fornece a maior parte dos nutrientes necessários através da produção de alimentos, alguns autores defendem que ela é o ponto de partida para a diminuição dessa deficiência, por meio da ampliação do desenvolvimento de culturas não básicas e na produção de alimentos mais ricos em nutrientes diretamente no campo (SALTZMAN *et al.*, 2013).

Assim surgiu a biofortificação, como uma alternativa ao combate a essa deficiência, e se fundamenta no enriquecimento nutricional de alimentos básicos que são consumidos em maior quantidade pela população carente. A biofortificação pode ser feita por meio do melhoramento genético e/ou pelo manejo da cultura no campo, com a adubação, sendo esse último conhecido como biofortificação agrônômica (VERGÜTZ *et al.*, 2016).

No entanto, existem diversas questões que devem ser levadas em consideração para a adoção e eficiência dessa estratégia, assim como dúvidas sobre sua real eficácia. Dessa forma, essa revisão objetiva analisar os principais fatores que levaram ao desenvolvimento de pesquisas acerca dessa técnica. Assim como os métodos atuais utilizados na biofortificação de culturas básicas, suas dificuldades e resultados mais promissores.

2 Metodologia

A revisão bibliográfica foi desenvolvida na Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG (Instituto de Ciências Agrárias, campus Montes Claros). Os trabalhos utilizados foram selecionados por meio de plataformas de busca na internet, como ScienceDirect, Google acadêmico, Scielo, Periódico Capes e sites de relevância na área.

Para o estudo, foram selecionados artigos de periódicos, teses, dissertações, revistas, boletins e sites informativos, publicados na língua inglesa ou portuguesa. Foram utilizados os termos de busca, biofortificação genética, biofortificação agrônômica, fome oculta, cereais, hortaliças, culturas básicas, selênio e zinco.

Foram reunidos trabalhos publicados entre os anos de 1980 à 2022, sendo dado prioridade aos trabalhos mais recentes. A construção da revisão bibliográfica foi realizada entre os meses de janeiro e junho.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Fome Oculta

Segundo a FAO, cerca de 963 milhões de pessoas estão em situação de fome no mundo, sendo que houve um aumento de 20% nesses dados após a pandemia, e há a tendência de crescimento desses números devido as crises econômicas causadas pela guerra na Ucrânia e aos eventos climáticos extremos (ONU, 2022). Essa insegurança alimentar citada, diz respeito a desnutrição em termos de calorias, ou seja, macronutrientes como carboidratos, gorduras e proteínas. A desnutrição de micronutrientes, é mais silenciosa e mais difícil de ser identificada, sendo assim conhecida como fome oculta (QAIM; STEIN; MEENAKSHI, 2007).

Cerca de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo foram identificadas com deficiência de nutrientes (vitaminas e minerais), como ferro, zinco, selênio e cálcio (WHO, 2002; WHITE, BROADLEY; 2005). Essa situação ocorre tanto nos países subdesenvolvidos, quanto em países industrializados, afetando diretamente o bem-estar social (HORTON; ROSS, 2003) e pode também estar diretamente associada a obesidade (FRANKLIN *et al.*, 2012; DIETZ, 1995).

Em 2019, a taxa de obesidade no Brasil era de 55,4%, após a pandemia esses dados aumentaram para 57,5%. Pode-se correlacionar esses valores com o a diminuição do consumo de hortaliças que caiu 22%, enquanto que o consumo de alimentos ultraprocessados chegou a 20% (AGÊNCIA BRASIL, 2022). Essa falta de hábito de consumo dos marcadores de alimentação saudável, foi vista em escolas públicas e privadas do distrito federal, sendo um fator de risco à fome oculta e obesidade (PEREIRA *et al.*, 2021).

A fome oculta possui como grupo vulnerável, mulheres e crianças (OMS, 2002; MCGUIRE, 2015), toma-se como exemplo a Índia, onde há um alto risco de deficiência em zinco pela população (HOTZ; BROWN, 2004), sendo que o IIPS (2000), registrou deficiência mineral em quase metade da população feminina, e anemia em três quartos das crianças do país.

Os micronutrientes e as vitaminas desempenham uma composição essencial para a promoção dos fatores de desenvolvimento e crescimento de plantas e animais (ASENSI-FABADO; MUNNÉ-BOSCH, 2010). Ou seja, sua carência pode impactar negativamente a saúde, propiciando o aumento de deficiências físicas e mentais, doenças infecciosas e consequentemente as taxas de mortalidade. E isso implica em um menor desenvolvimento

econômico, pois uma população carente nutricionalmente é menos ativa e gera mais despesas relacionadas a tratamentos de enfermidades (QAIM *et al.*, 2007).

No entanto, a maioria dos nutrientes, em especial os minerais, não são sintetizados pelo homem, dessa forma precisam ser obtidos por meio da dieta (FAIRWEATHER-TAIT; CASHMAN, 2015), principalmente pelo consumo de alimentos à base de plantas, como frutas e verduras (GHARIBZAHEDI, JAFARI, 2017; BUTURI *et al.*, 2021).

Pode-se observar então que, a fome oculta ocorre quando há uma baixa ingestão e absorção de minerais e vitaminas necessárias para o desempenho da manutenção da saúde e desenvolvimento do corpo (BOUIS; SALTZMAN, 2017). Segundo Qaim *et al.* (2007), um dos motivos dessa baixa ingestão está, majoritariamente, na quase inexistente diversidade alimentar da população de baixa renda, nas quais possuem em sua dieta apenas culturas básicas, que apesar de serem fontes de calorias de baixo custo, fornecem quantidades muito inferiores de vitaminas e minerais.

Parte do motivo do não acesso a culturas mais ricas em nutrientes por parte da sociedade, está nos altos preços dos alimentos não básicos, que piorou após a pandemia do COVID-19 (ELMES, 2018; USDA, 2020). Bouis *et al.* (2011), associa essa alta nos preços, à baixa produção e disponibilidade de alimentos, como verduras, nas quais ocorrem pelo menor desenvolvimento de pesquisas agrícolas dessas culturas, em comparação com as culturas básicas de alta densidade calórica (SCHREINEMACHERS *et al.*, 2018). Ainda de acordo com os mesmos autores, a renda não é o único agente limitante, a falta de educação alimentar e os fatores culturais também podem influenciar no consumo de alimentos mais nutritivos, uma vez que mesmo quando há o acesso a esses alimentos, a procura ainda é baixa (QAIM *et al.*, 2007).

Após décadas de pesquisas com a finalidade no aumento da produção agrícola, principalmente de cereais, a desnutrição ainda é um sério problema mundial. Nos últimos 40 anos, as pesquisas tiveram um maior foco no aumento da produtividade dos grãos, o que gerou uma diminuição nas concentrações dos seus minerais (GARVIN *et al.*, 2006; FAN *et al.*, 2008). Segundo a FAO (2018), a desnutrição de ferro e iodo são mais comuns, sendo que na Europa e na Ásia Central há um aumento da desnutrição devido a dietas com baixo teor de micronutrientes, ocasionando em um aumento de anemia em mulheres e crianças.

Dessa forma, muitos autores como, Saltzman *et al.* (2013), defendem que a agricultura deve ampliar o desenvolvimento de culturas não básicas e ter como foco também, a produção de alimentos mais ricos em nutrientes, para que além de suprir a fome calórica, também possam suprir as necessidades nutricionais da população.

Para tentar mitigar o problema da fome oculta, ações como distribuições de vitaminas, suplementação alimentar e fortificação industrial, são estratégias comuns de serem identificadas (ALLEN, 2003). No entanto, esses processos não são totalmente eficientes, pois muitas vezes precisam de financiamento contínuo para sua permanência, e parte do público alvo não é devidamente atingido, sendo necessário a implantação de táticas complementares a esses programas (QAIM *et al.*, 2007).

Pensando na premissa de que a agricultura é o ponto chave para o fornecimento da maior parte de nutrientes e compostos para a sobrevivência humana (SALTZMAN *et al.*, 2013), a solução para a diminuição da fome oculta tem que partir do campo e a biofortificação tem sido uma opção favorável para integrar esse grupo de estratégias (QAIM *et al.*, 2007).

3.2 Biofortificação

Os alimentos considerados básicos, são aqueles consumidos em maior quantidade pela maioria da população. Entretanto, essas culturas não possuem quantidades suficientes de micronutrientes para suprir as necessidades diárias do organismo, ou possuem, mas seu acúmulo se dá nas partes não comestíveis da planta (ZHU *et al.*, 2007). Dessa forma, a biofortificação vem se tornando cada vez mais palco de estudos, uma vez que a qualidade nutricional das culturas está ganhando relevância como critério para melhoristas de plantas (QAIM *et al.*, 2007).

Essa técnica tem como premissa o enriquecimento de culturas, com vitaminas e minerais específicos nas partes comestíveis da planta, por meio do melhoramento convencional, técnicas transgênicas e práticas agronômicas (NESTEL *et al.*, 2006; HIRSCHI, 2009; BOUIS *et al.*, 2011). É considerada uma alternativa de grande contribuição para reduzir problemas de deficiência e desnutrição, além de despertar interesses sobre sua influência nos rendimentos da produção (QAIM *et al.*, 2007).

O grande benefício da biofortificação vem da sua vantagem em alcançar áreas remotas, começando no sentido do rural, para o urbano, o contrário do que é feito em estratégias, como suplementação e fortificação industrial. O foco é disponibilizar variedades de culturas com maior concentração de micronutrientes e de maior rendimento aos agricultores, que poderiam além de consumir, comercializar esses produtos, atingindo assim moradores da zona rural e das áreas urbanas (SALTZMAN *et al.*, 2013). Até o ano de 2015, Manos e Wilkinson

(2016), relataram o acesso de cerca de 2,5 mil famílias às sementes de culturas biofortificadas. A transferência desses materiais aqui no Brasil, é feita pela Embrapa e a partir dessas sementes biofortificadas são produzidos alimentos que são utilizados em programas sociais, como merendas escolares e na dieta da própria comunidade (EMBRAPA, 2013).

Para a efetividade dessa abordagem, o melhoramento deve ser auto direcionado para as culturas básicas, que são consumidas em maiores quantidades por grande parte da população de baixa renda, uma vez que com o aumento dos preços dos alimentos há a redução por parte desse público no consumo de alimentos naturalmente ricos em micronutrientes, como frutas e verduras (QAIM *et al.*, 2007).

A biofortificação não pode ser usada como substituição a nenhuma técnica anteriormente citada, uma vez que uma única intervenção não irá eliminar as deficiências das populações afetadas (BOUIS *et al.*, 2011). Algumas ações como suplementação alimentar e fortificação, tem início na maioria das vezes nas áreas urbanas, assim a biofortificação, aparece como um complemento mais econômico e mais abrangente às populações mais carentes, principalmente das zonas rurais (BOUIS 1999; NESTEL *et al.*, 2006; PFEIFFER, MCCLAFFERTY, 2007; QAIM *et al.*, 2007; MEENAKSHI *et al.*, 2010).

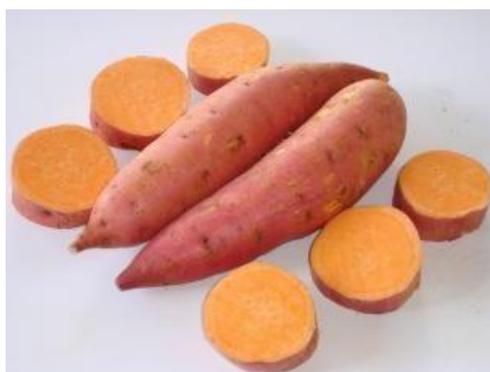
Um dos programas de pesquisas sobre biofortificação mais conhecido é o HarvestPlus, que tem trabalhos em cerca de 128 países de baixa e média renda, e investimentos em 13 culturas alimentares básicas (HARVESTPLUS, 2021), principalmente feijão, arroz, mandioca, batata-doce, milho e trigo. (QAIM *et al.*, 2007).

No Brasil, também há a BIOFORT Brasil, coordenada pela Embrapa e apoiada pelos programas HarvestPlus e AgrosSalut, com o foco em desenvolvimento de variedades de arroz, batata-doce, feijão, feijão-frade, mandioca, milho, trigo e abóbora (BIROL *et al.*, 2019). Dentre as culturas biofortificadas já produzidas, estão as variedades de mandioca ricas em β -caroteno, a BRS Dourada e BRS Gema de Ovo, que possuem cerca de 4 μg de β -caroteno em suas raízes e podem ser consumidas tanto cozidas, quanto como farinha (FUKUDA *et al.*, 2005). Cultivares de arroz e feijão ricos em ferro e zinco, também estão sendo desenvolvidos, assim como variedades de milho ricos em carotenóides, como a BRS 4104 (BIOFORT, 2020).

Analisando resultados da implementação de arroz e trigo biortificados na Índia, Qaim *et al.* (2007) observaram que apesar de não eliminar o problema completamente, a biofortificação dessas culturas poderiam causar uma redução pela metade dos custos de saúde associados à desnutrição de micronutrientes, podendo ser uma abordagem econômica na Ásia, África, América Latina e nos países em desenvolvimento.

Um dos relatos de maior sucesso da biofortificação é a batata-doce de polpa laranja (FIGURA 1), conhecida como cultivar *Beauregard*, que apresenta 10 vezes (acima de 200 mg/g) mais carotenóides que as demais cultivares. Essa cultivar foi altamente aceita pelos agricultores, fato que possibilitou o aumento da sua área cultivada em 59% em Moçambique e 44% na Uganda. A ingestão de vitamina A por parte da população desses países dobrou (HOTZ *et al.*, 2012), podendo o consumo dessa cultivar biofortificada, eliminar cerca de 38 a 64% do DALY por vitamina A na Uganda (MEENAKSHI *et al.*, 2010). Esse resultado é de extrema relevância, uma vez que a vitamina A está diretamente ligada a manutenção da visão e no bom funcionamento do sistema imunológico, podendo sua carência acarretar na chamada hipovitaminose A, deficiência na qual está associada à perda de visão em crianças (EMBRAPA, 2013).

Figura 1 – Batata-doce *Beauregard*



Fonte – EMBRAPA (LOBO, Leandro Santos)

Como dito anteriormente, um dos fatores que limitam os programas de suplementação e fortificação comercial, é a necessidade constante de financiamento (QAIM *et al.*, 2007). Assim, Saltzman *et al.* (2013), consideram a biofortificação um complemento com melhor custo-benefício, pois um único investimento no melhoramento de uma cultura, poderia criar anos de materiais de plantio ricos em micronutrientes, podendo o germoplasma ser adaptado e multiplicado a outras regiões, aumentando os benefícios do que foi investido inicialmente (HIRSCHI, 2009; QAIM *et al.*, 2007).

Hoddinott *et al.* (2012), identificaram que a cada um dólar investido na biofortificação, até US\$ 17 pode ser obtido de retorno. Mas deve-se levar em consideração que esse custo-benefício depende da planta de interesse, do micronutriente e do país em questão, já

que a cultura local e os padrões alimentares são um agente limitante para o consumo de certos alimentos (BOUIS *et al.*, 2011).

Dessa forma, uma mesma estratégia usada em determinado país ou continente, pode não obter os mesmos resultados em outras localidades, sendo necessário traçar um plano de estratégia para reconhecer o público alvo, suas deficiências e, principalmente, estabelecer os alimentos a serem biofortificados naquela região (QAIM *et al.*, 2007). No Brasil, pode-se destacar como exemplo, a grande importância da mandioca para famílias do Nordeste. Por ser resistente à seca, adaptar-se à diversidade de clima e solo, e pela ampla utilização na alimentação humana e animal, a cultura desempenha importante papel na geração de emprego e de renda nesta região.

Dentro da eficácia da biofortificação, é analisada a adoção dessas cultivares desenvolvidas por parte dos agricultores e consumidores, e avalia-se também a retenção dos micronutrientes nessas culturas. Essa avaliação leva em conta os processamentos que os alimentos irão passar, seu armazenamento e cozimento, pois esses parâmetros são necessários para que se haja comprovação de que esses micronutrientes se mantenham em níveis adequados para as populações-alvo (SALTZMAN *et al.*, 2013).

Para que a cultivar biofortificada seja melhor aceita, por parte dos agricultores e consumidores, o material lançado precisa ser competitivo com as variedades já disponíveis no mercado. Para que isso ocorra, além da cultivar possuir alta concentração de minerais e vitaminas nas partes comestíveis do alimento em estudo, essa variedade precisa ter características agronômicas desejáveis, como alto rendimento e resistência as pragas e doenças (SALTZMAN *et al.*, 2013).

Hirschi (2009), analisou que sementes biofortificadas podem ser altamente procuradas por agricultores, uma vez que esses minerais são essenciais para a resistência das plantas às doenças e estresses ambientais, influenciando também, na maior sobrevivência de plântulas, crescimento e maior rendimento.

Apesar de todos os prós que a biofortificação pode proporcionar, existem alguns questionamentos sobre sua real eficácia e também sobre as possíveis consequências que sua adoção poderia desencadear. Assim, pesquisadores como Manos e Wilkinson (2016), relatam a necessidade de avaliações sobre os riscos ambientais que o uso de sementes biofortificadas poderiam gerar, assim como a toxicidade que a exposição a superdoses de nutrientes causaria na população (PECOLLO *et al.*, 2010; ZIMMERMANN *et al.*, 2010).

3.2.1 Biofortificação Convencional e Transgênica

O melhoramento convencional, consiste na seleção de plantas com características agronômicas e teores altos de nutrientes desejados. As variedades biofortificadas são obtidas após vários cruzamentos e testes (EMBRAPA, 2018), que são possíveis, graças a variação genética no conteúdo de nutrientes das plantas (CAKMAK, 2007).

Após seu desenvolvimento, são selecionadas as variedades promissoras, que são submetidas a testes em diversos locais, sob condições climáticas variadas (ensaios multilocais), o desempenho dessas variedades é comparado com outras variedades já existentes. Essas ações são necessárias para avaliar o desempenho agrônomico do produto e é um requisito para a sua liberação, que pode levar de dois anos ou mais (BOUIS, SALTZMAN, 2017; SALTZMAN *et al.*, 2013).

Pode-se citar como exemplo, os ensaios para determinação do Valor de Cultivo e Uso (VCU), que são utilizados para avaliar o comportamento e a qualidade de novas cultivares. Esses ensaios são obrigatórios para a requisição do Registro Nacional de Cultivares (RNC), documento necessário para a introdução de novas cultivares no Brasil (BRASIL, 2020).

O melhoramento convencional é muito utilizado no aumento de zinco e ferro em grãos, uma vez que dentre as principais culturas de cereais, há variação genotípica suficiente para o desenvolvimento dessa técnica (WHITE e BROADLEY 2005; MONASTERIO *et al.*, 2007; WHITE e BROADLEY, 2009), sendo possível combinar as características de alta densidade de micronutrientes, com alto rendimento (NESTEL *et al.*, 2006). Essa variação genética foi vista por Cakmak (2008), no trigo selvagem Emmer que apresentou uma grande relação na concentração de zinco em seus grãos.

Nestel *et al.* (2006) demonstram que, por meio do melhoramento convencional foi possível o desenvolvimento de linhas de batata-doce de polpa alaranjada com altos níveis de carotenóides, assim como feijões com 50-70% mais ferro nos grãos.

Segundo Bouis e Saltzman (2017), o melhoramento convencional, por usar propriedades intrínsecas de uma cultura, enfrenta menos restrições regulatórias, e possui maior aceitação, que torna o meio mais rápido de fornecer culturas mais nutritivas, tanto para os agricultores quanto para os consumidores. Assim 85% das pesquisas desenvolvidas pela HarvestPlus são por meio da reprodução convencional, uma vez que essa se apresenta como uma alternativa mais rápida (NESTEL *et al.*, 2006; BOUIS; SALTZMAN, 2017).

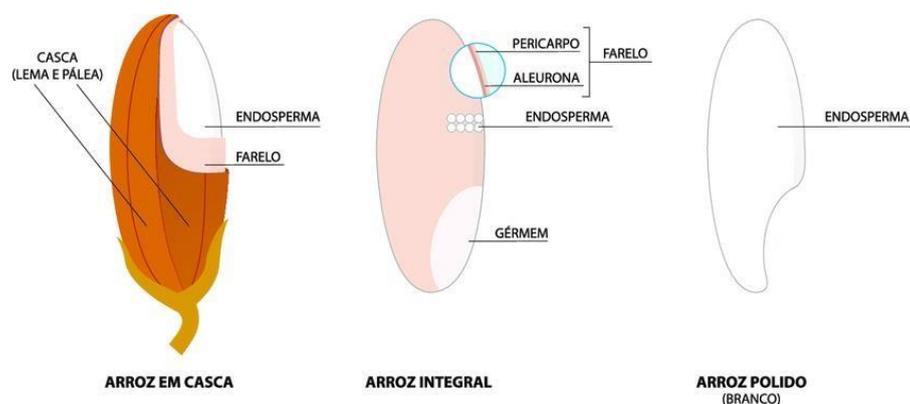
Apesar dessa alta taxa de sucesso, o melhoramento convencional possui limitações. Se houver baixa variabilidade genética ou a ausência do micronutriente desejado na cultura em estudo, o desenvolvimento dessa técnica não pode ser usado, sendo a transgenia uma alternativa eficiente e vantajosa (ZHU *et al.*, 2007; NESTEL *et al.*, 2006; SALTZMAN *et al.*, 2013). Que pode ser utilizada também em culturas de difícil reprodução, como a banana (SALTZMAN *et al.*, 2013).

A biofortificação transgênica é possível nesses casos pois, nessa técnica são introduzidos uma ou mais sequências de outra espécie no genoma, na qual utiliza a tecnologia do DNA recombinante (EMBRAPA, 2018). Por meio dessa técnica, é possível fazer modificações genéticas direcionadas para as partes comestíveis das plantas de interesse (AGRAWAL *et al.*, 2005).

Como exemplo, temos o fato de que a maior parte do ferro dos grãos de arroz fica depositados na aleurona, que acaba sendo removida quando o arroz é moído na produção do arroz polido (FIGURA 2). Assim, pesquisas transgênicas objetivam promover um acúmulo do ferro dentro do endosperma do arroz (GOTO *et al.*, 1999; GREGORIO *et al.*, 2000).

Outro exemplo, é o desenvolvimento do Arroz Dourado (FIGURA 3), onde pesquisadores buscavam promover um arroz enriquecido com carotenóide, no entanto o β -caroteno não foi identificado no endosperma de nenhuma variedade de arroz. Deste modo, utilizou-se a transgenia para a introdução de dois novos genes, vindos do milho e da bactéria *Pantoea ananatis*, sendo possível a criação de uma linhagem de arroz com cerca de 37 mg/g de carotenóide (PAINE *et al.*, 2005).

Figura 2 – Estrutura morfológica de um grão de arroz



Fonte: OLIVEIRA, 2021

Figura 3 – Arroz Transgênico rico em β -caroteno (Arroz Dourado)



Fonte: KOMIVES & KIRALY, 2017

No entanto, apesar das vantagens da transgenia sobre o melhoramento convencional, a mesma também possui muitas desvantagens, começando pelas inúmeras restrições regulatórias e políticas de uso, que dificulta a liberação e comercialização das variedades produzidas (BOUIS, SALTZMAN, 2017; SALTZMAN *et al.*, 2013). Essa questão acarreta em um maior custo de testagem e disseminação da tecnologia transgênica, devido aos testes de biossegurança e ao marketing na promoção da aceitação do agricultor e do consumidor, que ainda encontra uma grande resistência (QAIM *et al.*, 2007), principalmente na África (SALTZMAN *et al.*, 2013). Pode-se observar o caso do Arroz Dourado, que apesar de ter seu protótipo disponível, o mesmo não foi liberado em nenhum país devido aos rigorosos processos de regularização que já duram mais de 20 anos (WESSELER; ZILBERMAN, 2014).

No Brasil, existe em vigor a lei nº 11.105 de 2005, que regulamenta e fiscaliza as questões relacionadas aos Organismos Geneticamente Modificados (OGM's). E essa lei de biossegurança é internacionalmente conhecida como uma das leis mais completas e rigorosas do mundo (CROPLIFE, 2021).

Eventos transgênicos estão sendo desenvolvidos e testados, com o objetivo de biofortificar culturas como da banana e da mandioca, por meio do aumento dos níveis de ferro e provitamina A. Na cultura da mandioca, além do aumento nutricional, busca-se uma maior vida útil, resistência a doenças, e uma diminuição dos níveis de cianeto (SAYRE *et al.*, 2011; NAMANYA, 2011). Também existe o Projeto Sorgo Biofortificado da África, enriquecido com β -caroteno, vitamina E, ferro, zinco e vários aminoácidos. Ressalta-se que os trabalhos aqui apresentados evidenciam o potencial e a relevância da biofortificação nas novas perspectivas da segurança alimentar (QAIM *et al.*, 2007).

3.2.2 Biofortificação Agronômica

A Biofortificação Agronômica é uma das técnicas de biofortificação que consiste em complementar e enriquecer culturas de grandes valores nutricionais (VERGUTZ *et al.*, 2006). Essa técnica é feita por meio da aplicação de fertilizantes contendo elementos minerais carentes na dieta, com o objetivo de aumentar seus teores nas partes comestíveis das plantas por meio da aplicação via solo, foliar ou tratamento de sementes (NGIGI *et al.*, 2019; SARWAR *et al.*, 2020).

A biofortificação agronômica, dentre as outras estratégias, é considerada a mais simples e de menor custo. No entanto, assim como qualquer cultivo tradicional, o manejo correto do solo, da água e o estudo das interações de nutrientes são fundamentais para o sucesso da técnica (LAL *et al.*, 2020), pois fatores como as propriedades do solo, o método de aplicação a ser utilizado, a mobilidade do elemento na planta e seu local de acúmulo podem limitar a sua efetividade (ZHU *et al.*, 2007).

Pode-se usar como exemplo a interação do elemento com o solo. Grusak e Cakmak (2005), observaram que a biofortificação de ferro por meio da aplicação de fertilizantes via solo não é indicada, devido aos problemas que a aplicação de elevadas quantidades de elementos potencialmente tóxicos pode acarretar ao ambiente, além das baixas taxas de sucesso, uma vez que o ferro possui baixa mobilidade no solo. Essa baixa mobilidade se dá devido ao FeSO_4 ser fixado rapidamente às partículas do solo, sendo oxidado em Fe (III) (GRUSAK; DELLAPENNA, 1999). Assim, o enriquecimento de nutrientes como Fe, carotenóides, vitamina A, são mais utilizados através da biofortificação genética (SARWAR *et al.*, 2020).

Já pesquisas com o iodo e o selênio demonstraram que esses minerais possuem um melhor desempenho com o enriquecimento via fertilizante, uma vez que possuem mobilidade tanto no solo, quanto nas plantas (HARTIKAINEN, 2005; SARWAR *et al.*, 2020). O magnésio aplicado via fertilizante, também obteve sucesso no seu acúmulo em frutos, grãos, sementes, folhas e tubérculos, sendo de grande potencial na biofortificação agronômica de hortaliças (MARSCHNER, 2011; WHITE, BROADLEY, 2009, BUTURI *et al.*, 2021). O mesmo foi observado com o zinco, onde White e Broadley (2005), determinaram que aplicações de ZnSO_4 podem influenciar no aumento de concentrações de zinco em culturas de cereais e leguminosas.

Segundo Prasad *et al.* (2014), a aplicação via foliar possui melhores resultados na biofortificação de ferro e zinco, uma vez que necessita de uma menor quantidade de fertilizante do que a aplicação via solo. Os resultados demonstraram que a aplicação foliar com zinco,

proporcionou um aumento de 20 mg/kg da concentração desse mineral nos grãos de trigo na Índia e no Paquistão (ZOU *et al.*, 2012).

Além do aumento de micronutrientes, a fortificação via fertilizantes pode proporcionar outros benefícios agronômicos. A aplicação de zinco, pode proporcionar uma melhora na germinação e no vigor das plântulas, influenciando também na maior tolerância da cultura à estresses abióticos e doenças (HUBER, GRAHAM, 1999; ÇAKMAK, 2008).

O foco das pesquisas atuais dessa técnica, é identificar a forma do mineral a ser aplicado, sua concentração e o método de aplicação. Essas questões precisam ser estabelecidas, uma vez que determinados minerais podem causar efeitos antagônicos, acarretando em toxicidade e danos na cultura (O'HARE, 2015; WHITE, BROADLEY, 2009). Outro interesse, é o estudo em relação a biodisponibilidade desses minerais, e os desafios em relação ao alto preço de determinadas formulações químicas (BUTURI *et al.*, 2021).

A utilização da biofortificação agronômica como complemento é de extrema importância, uma vez que mesmo tendo sucesso no melhoramento de uma variedade, se o solo da região não disponibilizar micronutrientes suficientes, a planta não vai se desenvolver adequadamente (MAO *et al.*, 2014). Segundo Saltzman *et al.* (2013), essa técnica é a mais utilizada, uma vez que é realizada em campo por meio da adubação, dando mais praticidade, rapidez e viabilidade.

A biofortificação por fertilização deve ser aplicada de acordo com a cultura e o mineral a ser utilizado, não podendo ser amplamente aplicada como estratégia, uma vez que nessa técnica as aplicações de fertilizantes muitas vezes precisam ser regulares, o que demanda gastos e pode desencadear problemas ambientais (HIRSCHI, 2009). É uma abordagem com grande potencial, necessitando de mais avaliações para a sua melhor efetividade (SALTZMAN *et al.*, 2019).

Atualmente existem grandes pesquisas envolvendo selênio e zinco, principalmente devido ao fato de que a maioria dos solos possuem baixos teores desses nutrientes, sendo o zinco um nutriente limitante na produção agrícola. Assim, pesquisas sobre a interação desses minerais no solo é de grande importância (INOCENCIO, 2014).

3.2.2.1 Selênio

O selênio é um elemento não-metal da família dos calcogênios, que foi conhecido por muito tempo apenas por sua toxicidade. Somente após 1957, quando pesquisas demonstraram sua essencialidade para a nutrição humana e animal, esse elemento passou a ser mais bem avaliado pelos seus benefícios na alimentação (FARIA; KARP, 2015; PUTAROV, 2010).

Apesar de ser menos popular do que nutrientes como ferro e cálcio, o selênio é essencial para o desempenho correto do nosso corpo, sendo bastante conhecido pelas suas funções antioxidantes, que ajudam a neutralizar os radicais livres, fortalecendo assim o sistema imunológico. Além disso, pode-se ressaltar que o selênio auxilia no metabolismo da tireoide e atua na prevenção de doenças cardiovasculares, câncer e Alzheimer (CARDOSO, 2014).

A ingestão diária recomendada (RDA) para o selênio vai de 55-400 $\mu\text{g dia}^{-1}$ (TRUMBO *et al.*, 2001), e seu teor nos alimentos varia em relação a sua presença no solo, no entanto existem alguns alimentos que possuem concentrações médias mais elevadas (QUADRO 1).

Quadro 1 – Alimentos ricos em selênio

Alimentos	Concentração média de selênio
castanha-do-pará	400 μg /unidade
Farinha de trigo	42 μg / 100 g
Pão francês	10 μg /unidade
Frango	7 μg / 100 g
Arroz	5 μg / 4 colheres de sopa
Gema de ovo	3,4 μg / unidade
Carne bovina	3 μg / 100 g
Clara de ovo	1,5 μg / unidade
Feijão	1,5 μg / 2 colheres de sopa
Queijo	1,4 μg / fatia média
Ingestão dietética recomendada (RDA)	$\mu\text{g}/\text{dia}$
Máxima	400
Mínima	55

Fonte – VEJA SAÚDE, 2017

Segundo Cartes *et al.* (2005), o Se nas plantas possui os mesmos mecanismos antioxidantes observado nos animais, podendo ser adicionado ao solo para melhorar a qualidade

de forragens, aumentando a persistência do pasto e diminuindo a sua senescência. Isso é possível graças a capacidade do selênio de ativar enzimas como a catalase, peroxidase de ascorbato, dismutase de superóxido, redutase da glutatona e peroxidase de guaiacol, nas quais após ativadas pelo selênio, reduz a taxa, tanto de peroxidação lipídica, quanto da formação de peróxido de hidrogênio, reduzindo assim a senescência (DJANAGUIRAMAN *et al.*, 2004).

Essa influência do selênio na diminuição da peroxidação lipídica foi vista por esse mesmo autor na soja, com a utilização de 50 mg/L de selenato de sódio via aplicação foliar. Foi observado também um aumento na produtividade e diminuição da degradação das clorofilas, nas quais apresentou o seu teor máximo durante a fase vegetativa, mantendo uma ativação da área fotossintética por um maior período de tempo. Cartes *et al.* (2005), observaram efeitos da enzima GSH sob influência da aplicação de 4 mg/kg em pastagem, o que acarretou em um maior efeito antioxidante.

Pesquisas no Brasil acerca dos focos de deficiência de selênio ainda são escassas, mas os poucos estudos realizados demonstraram a baixa concentração nos alimentos, pastagens, leite e no sangue dos animais (LUCCI *et al.*, 1984^a; LUCCI *et al.*, 1984^b; MALBE *et al.*, 1995). Isso pode estar ligado aos teores de selênio no solo serem extremamente baixos e variáveis (COMINETTI, CAZZOLINO, 2009).

O selênio pode ser encontrado de duas formas na natureza, na forma orgânica e inorgânica (NRC, 2006). Conforme Andriquetto *et al.* (1983), as formas inorgânicas de selênio são as mais utilizadas, como o selenito e o selenato. Para a biofortificação via solo, é mais comum a utilização do selenato, pois há uma maior eficiência na absorção de selênio pelas raízes e uma maior translocação para parte aérea, acarretando em um maior teor nos grãos, como visto por Boldrin *et al.* (2012) em plantas de arroz.

Os motivos da baixa eficiência do selenito na fertilização via solo, é devido ao mesmo sofrer a chamada adsorção específica com a hematita e a goethita, formando complexos de esfera interna, tornando-o indisponível para as plantas (ROVIRA *et al.*, 2008), e tendendo a acumular nas raízes (ZHANG *et al.*, 2003).

A utilização de selenato e selenito de sódio é de grande influência em proporcionar acúmulo de selênio quando aplicado em hortaliças e verduras (QUADRO 2). Puccinelli *et al.* (2017) ainda evidenciam os seus efeitos no melhoramento pós-colheita, uma vez que há um aumento na vida útil do produto devido às ações antioxidantes e diminuição da senescência que o selênio pode causar. Rios *et al.* (2008), estudando os efeitos do selênio na alface, observaram que com a aplicação de 40 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de selenato se obteve um maior acúmulo de selênio, além

de um aumento na quantidade de biomassa e compostos antioxidantes, fazendo com que essas plantas se apresentem de forma mais saudável do que as plantas controle.

Os teores benéficos e tóxicos do selênio são extremamente próximos (FISHER *et al.*, 1980), e segundo Malavolta (1980), esse mineral compete pelo mesmo sítio de absorção do enxofre, se ligando em aminoácidos análogos, podendo substituí-lo na formação da selenometionina e selenocisteína (RAYMAN, 2002). No entanto pesquisadores observaram que o selênio quando usado na forma de selenato pode acarretar em uma interação sinérgica, aumentando o teor do enxofre. Esses resultados foram observados por Ramos *et al.* (2011) em germoplasmas de alface e por Mikkelsen e Wan (1990) em cevada e arroz.

A Finlândia é um ótimo exemplo do sucesso da biofortificação com selênio, a aplicação anual é considerada suficiente para atingir os teores ideais de selênio em cereais e gramíneas, suprimindo as necessidades dos animais e dispensando suplementação em cocho (FERNANDO, 2002). No Brasil, verifica-se que são necessários investimentos em pesquisas a fim de obter mais informações acerca do teor e comportamento desse elemento nas diferentes culturas (REIS *et al.*, 2014).

O selênio, diferentemente do zinco e ferro, possui pouco efeito da biofortificação genética. Assim, Boldrin *et al.* (2012); Poblaciones *et al.* (2014), observaram que a adubação com selênio via solo proporciona um maior acúmulo do mesmo em grãos de trigo e arroz. Visto também um maior sucesso da aplicação via foliar (INOCÊNCIO, 2014). Hartikainen (2005), observou que essa suplementação melhora o teor dos elementos no solo, melhorando assim a sua concentração nas plantas, animais e humanos, contribuindo para que o selênio esteja em uma faixa segura e adequada, melhorando também a produtividade das culturas.

No entanto, o HarvestPlus, programa no qual busca o melhoramento e disseminação de culturas com alto valor nutricional nos países, não tem a biofortificação com selênio como parte do desenvolvimento aqui no Brasil. Por outro lado, na Nova Zelândia, observa-se que desde 1984, o selenato faz parte das composições de fertilizantes NPK para diversas culturas e pastagens, sendo uma atividade positiva para o aumento do selênio na população (REIS *et al.*, 2014).

Como o teor de selênio varia em relação as características do solo, são necessários estudos em diferentes Estados do Brasil, levando em conta a variação genotípica das culturas para a seleção de genótipos que apresentam uma maior eficiência no acúmulo de selênio nas partes comestíveis. Assim, o desenvolvimento de pesquisas em diversas culturas e Estados para a determinação das fontes, formas e doses de aplicação de selênio são imprescindíveis, a fim de caracterizar cada região (REIS *et al.*, 2014).

Quadro 2 – Resultados obtidos na biofortificação de selênio em hortaliças

Cultura	Forma de aplicação	Fórmula química	Dose	Época	Concentração de selênio na planta	Local de acúmulo	Fonte
Manjeriço	Pulverização foliar	Na ₂ SeO ₃	10 µm	4 aplicações a partir do 7º dia após o transplante	10,74 mg kg ⁻¹ DW (700 vezes maior do que as plantas controle)	Folhas	SKRYPNIK <i>et al.</i> , 2019
Alface	Pulverização foliar	Na ₂ SeO ₄	0,633 µm	Fase de seis folhas	40 mg kg ⁻¹ DW (cerca de 40 vezes maior do que o controle)	Folhas	SMOLE'N <i>et al.</i> , 2014
Rabanete	Pulverização foliar	Na ₂ SeO ₄	5 mg/planta	7 dias antes da colheita	346,5 mg kg ⁻¹ DW	Raízes	SCHIAVON <i>et al.</i> , 2016
Alface	Fertirrigação	Na ₂ SeO ₄	25 µm	***	39,4 mg kg ⁻¹ DW (cerca de 40 vezes maior que o controle)	Folhas	NASCIMENTO DA SILVA <i>et al.</i> , 2017
Tomate	Fertirrigação	Na ₂ SeO ₄	5 mg L ⁻¹	***	35,8 mg kg ⁻¹ DW (2 vezes a concentração nas plantas não tratadas)	Frutos	NASCIMENTO DA SILVA <i>et al.</i> , 2016

Fonte- BUTURI *et al.*, 2021

3.2.2.2 Zinco

A deficiência de zinco afeta cerca de um terço da população mundial e está elencada pela OMS no 11º lugar dentre os 20 fatores mais importantes do mundo (HOTZ; BROWN, 2004), sendo que no Brasil 20,3% da população está dentro dessa estatística (PEDRAZA; SALES., 2015). Essa deficiência é identificada tanto nos humanos, quanto nas culturas (WHITE, ZASOSKI 1999; HOTZ, BROWN 2004; WELCH, GRAHAM 2004).

Por ser essencial para a manutenção da saúde, sua deficiência pode acarretar em estresse fisiológico, diminuição da capacidade de aprendizado, aumento da probabilidade de desenvolvimento de câncer, e complicações no sistema imunológico, aumentando o risco de infecções (HOTZ, BROWN 2004; GIBSON *et al.*, 2006). Assim, como estratégia para contornar essa situação, está a biofortificação agrônômica, que por ser uma técnica menos complicada que as demais, pode ser utilizada como solução rápida em países mais carentes por zinco (HABIB; 2009).

A ingestão diária mínima de zinco varia de acordo com a fase da vida, e em adultos ela pode ir de 15-45 mg/dia, essa meta é atingida por meio do consumo de alimentos ricos nesse nutriente (QUADRO 3) (INSTITUTOS NACIONAIS DA SAÚDE, 2021). No entanto, a presença desse mineral nas culturas depende fortemente do seu teor no solo, dessa maneira, a aplicação de fertilizantes ricos em zinco é de extrema importância ao combate dessa deficiência (OZTURK *et al.*, 2006; KUTMAN *et al.*, 2011).

Quadro 3 – Alimentos ricos em zinco e seus teores médios

Alimentos	Quantidade de zinco / 100g
Ostras cruas	91 mg
Gérmen de trigo	12,2 mg
carne bovina assada	8,5 mg
Semente de abóbora	7,6 mg
Amêndoas	5,0 mg
Amendoim	4,8 mg
Soja cozida	4,1 mg
Frango cozido	2,9 mg
Arroz integral	2,2 mg
Feijão cozido	1,4 mg
Ingestão dietética recomendada (RDA)	15-45 mg/dia

Fonte- TUA SAÚDE, 2022

Focos de deficiência de zinco foram verificados no Brasil em pastagens do Estado de São Paulo (VENDRAME *et al.*, 2007) e no pantanal do Mato Grosso (BRUM *et al.*, 1987), nos quais se mostrou um menor teor de zinco em solos mais arenosos (BRUM *et al.*, 1987). Esse baixo teor de zinco no solo acaba por produzir plantas igualmente deficientes, nas quais não consegue suprir as necessidades nutricionais, tanto dos humanos, quanto dos animais. Como foi observado por Sousa e Darsie (1985) no Nordeste de Roraima, no qual constatou-se baixos níveis de zinco no fígado dos animais.

A baixa concentração de zinco nas plantas vai além da sua quantidade no solo, existem fatores como o pH, umidade, matéria orgânica, presença de outros nutrientes e fitodisponibilidade que podem limitar a quantidade de zinco solúvel na radícula. Isso é visto quando o pH do solo está acima de 8, na qual ocorre a precipitação do zinco, diminuindo a disponibilidade desse nutriente às raízes (MARSCHNER, 1993; SIPOS *et al.*, 2008; RENGEL, 2015)

Marschner (1993) e Rengel (2015) ainda elencam que o zinco é absorvido pelas raízes por difusão, dessa forma se não houver umidade suficiente, essa absorção é comprometida. Assim as práticas agronômicas auxiliam no melhoramento dessa fitodisponibilidade, por meio da correção do solo, rotações de culturas e aplicações de fertilizantes contendo zinco fitodisponível (WHITE *et al.*, 2018).

A limitação da absorção do zinco por falta de umidade, está muito presente em alguns países asiáticos (RAFIQUE *et al.*, 2006; KARIM, RAHMAN, 2015), como a Turquia (EKIZ *et al.*, 1998; BAGCI *et al.*, 2007), devido as baixas precipitações, além de problemas químicos e físicos que reduzem a disponibilidade desse nutriente (CAKMAK, 2008^a). Isso foi observado por Graham *et al.* (1992), no trigo cultivado no semiárido da Austrália. Devido as irregularidades na distribuição de chuva do local, o solo apresentou baixa umidade na fase de enchimento dos grãos.

Assim, o estabelecimento do melhor momento para a aplicação do zinco é de extrema importância (WELCH *et al.*, 2013), pois como visto, a eficiência da biofortificação em cereais, depende da disponibilidade desse nutriente em níveis adequados durante a fase de enchimento de grãos (CAKMAK, KUTMAN, 2017).

Pesquisas desenvolvidas pelo HarvestPlus, demonstraram que em condições de campo, as aplicações foliares de zinco tiveram uma maior eficiência em aumentar o seu teor nos grãos, ao contrário do que foi visto quando aplicado ao solo na semeadura. As culturas mais responsivas a essas aplicações foram o trigo e o arroz, que obtiveram maior eficácia quando biofortificado na fase de enchimento dos grãos (CAKMAK *et al.*, 2010^a; BOONCHUAY *et al.*, 2013; ABDOLI *et al.*, 2014), enquanto o milho não apresentou diferença em seus resultados (CAKMAK, KUTMAN, 2017).

Nas aplicações foliares, dentre outras fontes, podem ser usados quelato de zinco e sulfato de zinco, esse último sendo uma opção eficiente e mais econômica (CAKMAK, KUTMAN, 2017). Geralmente são utilizados cerca de 1 kg ha⁻¹ nas pulverizações foliares, quantidade muito menor do que é normalmente utilizado ao solo (CAKMAK *et al.*, 2010^a; BOONCHUAY *et al.*, 2013).

O sulfato de zinco também pode ser aplicado em solos deficientes, em quantidades que podem variar de 5 a 25 kg zinco ha⁻¹ (YILMAZET *et al.*, 1997; CAKMAK, 2008^b; ZHAO *et al.*, 2014). Essas quantidades variam, pois, a aplicação depende da cultura utilizada, do solo e métodos de aplicação (ALLOWAY, 2008).

A adubação via solo com zinco não precisa ser realizada todo ano, pois seus efeitos podem durar cerca de 10 anos (CAKMAK, 2008^b). E deve-se levar em consideração que a

aplicação de grandes quantidades desse elemento no solo pode antagonizar a absorção de ferro e auxiliar no aumento do teor de manganês e aminoácidos (LIMA *et al.*, 2015).

A biofortificação com zinco em hortaliças também é uma prática com grande potencial, principalmente em relação as folhosas. Barrameda-Medina *et al.* (2017), apresentaram em seu estudo um aumento do teor de zinco nas folhas de alface ao utilizar 100 μm de sulfato de zinco em cultivo hidropônico.

Estudos com *Brassicac*s, demonstraram uma grande capacidade desse gênero em acumular zinco (BUTURI *et al.*, 2021). Isso foi observado por Lima *et al.* (2015) em folhas de couve, na qual se obteve aumento de 28 vezes na concentração de zinco, ao aplicar via solo 300 mg/kg^{-1} , desse elemento. Mao *et al.* (2014) também observaram acúmulos consideráveis no cultivo da canola e repolho, com a aplicação de 22,7 kg ha^{-1} de sulfato de zinco ao solo. A aplicação foliar de 1,5 kg ha^{-1} de sulfato de zinco na rúcula, proporcionou um acúmulo de cerca de 94% em sua parte comestível (RUGELES-REYES *et al.*, 2019).

A fertilização com zinco, além dos benefícios na biofortificação, contribui com melhores rendimentos, vigor de sementes e plântulas, além de estar relacionado com a diminuição do acúmulo de cádmio pela planta. Alves *et al.* (2015), obtiveram um maior rendimento na produção do arroz cultivar BRS Sertaneja quando enriquecido com zinco, e Carmona *et al.* (2020) observaram uma maior produção e crescimento em beterrabas independente da fonte de zinco.

4 Considerações Finais

Por meio dos materiais encontrados pelo Google Acadêmico, Scielo e demais fontes disponíveis na internet foi possível constatar o quanto a desnutrição, em especial de micronutrientes, ainda atinge grande parte da sociedade. A forma mais eficaz para a erradicação desse problema, está no consumo de uma dieta diversificada, no entanto grande parte da sociedade não tem acesso a esses alimentos.

Assim, o enriquecimento de culturas acessíveis a populações de baixa renda, vem demonstrando grande efetividade no fornecimento de nutrientes em diversas regiões carentes do mundo.

No entanto, ainda são necessárias mais pesquisas a fim de avaliar os benefícios e os impactos que essa técnica pode causar na sociedade e na agrobiodiversidade. Assim, devem ser feitas avaliações que levem em consideração a viabilidade dessa técnica, biodisponibilidade desses nutrientes, toxicologia, e a interação dessas superdoses no solo e nas plantas. Sendo imprescindível um estudo em conjunto por cientistas, economistas, agrônomos e nutricionistas.

No que se refere a biofortificação agronômica, esses trabalhos devem ser melhor caracterizados, para o estabelecimento das doses, formas e métodos de aplicação levando em conta cada região. Além de estudar os efeitos sinérgicos e antagônicos que a aplicação de determinado nutriente pode acarretar.

Ademais, os estudos analisados nessa revisão apresentaram resultados positivos, tanto do âmbito social quanto econômico, uma vez que um único investimento pode produzir materiais que podem ser compartilhados para outros países (BOUIS *et al.*, 2011). Mas para que esses trabalhos se mantenham contínuos, é fundamental o incentivo a pesquisas e maiores financiamentos, além de uma caracterização aprofundada das regiões mais afetadas e investimentos em educação alimentar nas escolas e comunidades.

REFERÊNCIAS

- ABDOLI, M. *et al.* Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat (cv. Kohdasht). **Azarian Journal of Agriculture**, 2014.
- AGRAWAL, P. K. *et al.* Transformation of plants with multiple cassettes generates simple transgene integration patterns and high expression levels. **Molecular Breeding**, v. 16, n. 3, p. 247-260, 2005.
- AGRICULTORES do Ceará cultivam o milho biofortificado BRS 4104, Embrapa, Ceará, 01 jun. 2020. Disponível em: < <https://biofort.com.br/agricultores-do-ceara-cultivam-o-milho-biofortificado-brs-4104/> >. Acesso em 14 de jul. de 2022.
- ALLEN, L. Interventions for micronutrient deficiency control in developing countries: past, present and future. **The Journal of nutrition**, v. 133, n. 11, p. 3875S-3878S, 2003.
- ALVES, S. J. F. *et al.* **Biofortificação com zinco em arroz de terras altas**. [S.l.: s.n.], 2015.
- ANDRIGUETTO, J.M. *et al.* **Nutrição Animal**. 2.ed. São Paulo: Editora Livraria Nobel, 1983. 244-247 p.
- ASENSI-FABADO, M. A.; MUNNÉ-BOSCH, S. Vitamins in plants: occurrence, biosynthesis and antioxidant function. **Trends in plant science**, v. 15, n. 10, p. 582-592, 2010.
- BAGCI, S. A. *et al.* Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 193, n. 3, p. 198-206, 2007.
- BARRAMEDA-MEDINA, Y., *et al.* Zinc biofortification improves phytochemicals and amino-acidic profile in Brassica oleracea cv. Bronco. **Plant science**, v. 258, p. 45-51, 2017.
- BOLDRIN, P. *et al.* Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, p. 831-837, 2012.
- BOONCHUAY, P. *et al.* Effect of different foliar zinc application at different growth stages on seed zinc concentration and its impact on seedling vigor in rice. **Soil science and plant nutrition**, v. 59, n. 2, p. 180-188, 2013.
- BOUIS, H. Economics of enhanced micronutrient density in food staples. **Field Crops Research**, v. 60, n. 1-2, p. 165-173, 1999.
- BOUIS, *et al.* Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food Nutr. Bull.** 32 (Suppl. 1), S31-S40, 2011b.
- 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.
- BRASIL. **DECRETO Nº 10.586, DE 18 DE DEZEMBRO DE 2020**. Regulamenta a Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudanças. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20192022/2020/Decreto/D10586.htm>. Acesso em: 14 de jul. de 2022.

BRUM, P. *et al.* Deficiências minerais de bovinos na sub-região dos Paiaguás, no Pantanal Mato-grossense. II. Cobre, zinco, manganês e ferro. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 22, n. 9/10, p. 1049-1060, 1987.

BUTURI, C. *et al.* Mineral biofortification of vegetables as a tool to improve human diet. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 223, 2021.

CARDOSO, B. **Efeitos do consumo de castanha-do-brasil (*Bertholetia excelsa* HBK) sobre o estresse oxidativo em pacientes com comprometimento cognitivo leve e a relação com variações em genes de selenoproteínas.** 2014. 112 f. Tese (Doutorado em Nutrição Experimental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CARTES, P.; GIANFREDA, L.; MORA, M. L. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. **Plant and Soil**, v. 276, n. 1, p. 359-367, 2005.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. **Plant and soil**, v. 302, n. 1, p. 1-17, 2008.

CAKMAK, I. Zinc deficiency in wheat in Turkey. **In: Micronutrient deficiencies in global crop production.** Springer, Dordrecht, p. 181-200, 2008.

CAKMAK, I. Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy. **In: 19th world congress of soil science.** p. 1-6, 2010.

CAKMAK, I.; KUTMAN, U. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European journal of soil science**, v. 69, n. 1, p. 172-180, 2018.

CARMONA, V. *et al.* Biofortificação agrônômica de beterraba com zinco via condicionamento osmótico de sementes. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 116-123, 2020.

COMINETTI, C.; COZZOLINO, S. Funções plenamente reconhecidas de nutrientes: Selênio. **Série de publicações ILSI Brasil**, São Paulo, v. 8, p. 1-20, 2009.

DE BENOIST, B. *et al.* Guidelines on food fortification with micronutrients. **Geneva: World Health Organization**, 2006.

DE SOUSA, J. C.; DARSIE, G. Deficiências minerais em bovinos de Roraima, Brasil. I. Zinco e cobalto. **Embrapa Gado de Corte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1985.

DIETZ, W. Does hunger cause obesity?. **Pediatrics**, v. 95, n. 5, p. 766-767, 1995.

DJANAGUIRAMAN, M. *et al.* Impact of selenium spray on monocarpic senescence of soybean (*Glycine Max* L.). **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 2, p. 44-47, 2004.

DRUESNE-PECOLLO, N. *et al.* Beta-carotene supplementation and cancer risk: a systematic review and metaanalysis of randomized controlled trials. **International journal of cancer**, v. 127, n. 1, p. 172-184, 2010.

EKIZ, H. *et al.* Effects of zinc fertilization and irrigation on grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soils. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 10, p. 2245-2256, 1998.

ELMES, M. Economic inequality, food insecurity, and the erosion of equality of capabilities in the United States. **Business & Society**, v. 57, n. 6, p. 1045-1074, 2018.

EMBRAPA lança primeira cultivar de milho biofortificado. Embrapa, 22 de mai. 2013. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1492387/embrapa-lanca-primeira-cultivar-de-milho-biofortificado> >. Acesso em 14 de jul. de 2022.

FAIRWEATHER-TAIT, S.; CASHMAN, K. Minerals and trace elements. In: Nutrition for the primary care provider. **Karger Publishers**, p. 45-52, 2015.

FAN, M. *et al.* Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 22, n. 4, p. 315-324, 2008.

FAO, 2018. Publication Regional Overview of Food Security and Nutrition in Europe and Central Asia 2018. **Budapest. 110 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.**

FARIA, L. A. *et al.* Agronomic biofortification of Brachiaria with selenium along with urea. **In: Global Advances in Selenium Research from Theory to Application: Proceedings of the 4th International Conference on Selenium in the Environment and Human Health**, 2015. CRC Press, 2015. p. 159.

FERNANDO, P. **Selênio**, Tradução condensada de “Fertilizer International”, maio/jun. 2002. Disponível em: <<http://www.abcz.org.br>>. Acesso em: 14 out. 2021.

FISHER, L.J. *et al.* The effect of added dietary selenium on the selenium content of milk, urine and feces. **Canadian Journal of Animal Science**, v.60, p.79-86, 1980.

FOME cresceu mais de 20% no mundo e atinge 193 milhões de pessoas. ONU, 2022. Disponível em: < <https://www.fao.org/hunger/en/> >. Acesso em: 02/04/2022.

FRANKLIN, Brandi *et al.* Exploring mediators of food insecurity and obesity: a review of recent literature. **Journal of community health**, v. 37, n. 1, p. 253-264, 2012.

FUKUDA, W.; PEREIRA M. BRS Gema de Ovo: mandioca de mesa biofortificada. **Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**; 2005.

FUKUDA W.; PEREIRA M., OLIVEIRA L., GODOY R. BRS Dourada: mandioca de mesa com uso diversificado. **Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**; 2005.

GARVIN, D.; WELCH, R.; FINLEY, J. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 13, p. 2213-2220, 2006.

GHARIBZAHEDI, S.; JAFARI, S. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 119-132, 2017.

- GIBSON, C. *et al.* The biofortification of barley with selenium. **Proceedings of the Institute of Brewery & Distilling (Asia-Pacific Section) Carventron**, p. 19-24, 2006.
- GOTO, F. *et al.* Iron fortification of rice seed by the soybean ferritin gene. **Nature biotechnology**, v. 17, n. 3, p. 282-286, 1999.
- GRAHAM, R.; ASCHER, J.; HYNES, S. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. **Plant and Soil**, 146, 241– 250, 1992.
- GREGORIO, G. *et al.* Breeding for trace mineral density in rice. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 21, n. 4, p. 382-386, 2000.
- GRUSAK, M.; DELLAPENNA, D. Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. **Annual review of plant biology**, v. 50, n. 1, p. 133-161, 1999.
- GRUSAK, M. A.; CAKMAK, I. Methods to improve the crop-delivery of minerals to humans and livestock. **Plant nutritional genomics**, p. 265-286, 2005.
- HABIB, M. Effect of foliar application of Zn and Fe on wheat yield and quality. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 24, 2009.
- HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. **Journal of trace elements in medicine and Biology**, v. 18, n. 4, p. 309-318, 2005.
- HIRSCHI, K. Nutrient biofortification of food crops. **Annual review of nutrition**, v. 29, p. 401-421, 2009.
- HODDINOTT, J. *et al.* Agriculture, health, and nutrition: toward conceptualizing the linkages. **Reshaping agriculture for nutrition and health**, p. 13-20, 2012.
- HORTON, S.; ROSS, J. The economics of iron deficiency. **Food policy**, v. 28, n. 1, p. 51-75, 2003.
- HOTZ, C. *et al.* Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. **Food and Nutrition Bulletin**, Tokyo, 2004. S91-S204.
- HOTZ, C. *et al.* Introduction of β -carotene-rich orange sweet potato in rural Uganda resulted in increased vitamin A intakes among children and women and improved vitamin A status among children. **The Journal of nutrition**, v. 142, n. 10, p. 1871-1880, 2012.
- HUBER, D.; GRAHAM, R. The role of nutrition in crop resistance. **Mineral nutrition of crops: fundamental mechanisms and implications**, v. 18, n. 12, p. 169, 1999.
- HUNGER and food insecurity. FAO, 2020. Disponível em: < <https://www.fao.org/hunger/en/>>. Acesso em: 25/03/2022.
- INOCENCIO, M. **Frações de zinco no solo e biofortificação agrônômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- IMPROVING lives with nutrient-enriched crops. HarvestPlus, 2021. Disponível em: < <https://www.harvestplus.org/>>. Acesso em: 25/03/2022.

KARIM M.R., RAHMAN M.A. Drought risk management for increased cereal production in Asian least developed countries. **Weather Climate Extr.**, 7: 24-35, 2015.

KUTMAN, U.; YILDIZ, B.; CAKMAK, I. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. **Plant and Soil**, v. 342, n. 1, p. 149-164, 2011.

LAL, M. *et al.* Biofortification of vegetables. **In: Advances in agri-food biotechnology.** Springer, Singapore, p. 105-129, 2020.

LEI de Biossegurança – 25 anos protegendo o meio ambiente e a saúde humana e animal. CropLife, 2021. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/noticias/lei-de-biosseguranca-25-anos/>>. Acesso em: 14 de jul. de 2022.

LIMA, F.; NASCIMENTO, C.; SOUSA, C. Zinc fertilization as an alternative to increase the concentration of micronutrients in edible parts of vegetables. **Rev. Bras. Ciências Agrar.** 10, 403–408, 2015.

LUCCI, C. *et al.* Selênio em bovinos leiteiros do estado de São Paulo. I Níveis de Selênio em soros sanguíneos. **Revista da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo**, v. 21, n. 1, p. 65-70, 1984.

LUCCI, C. *et al.* Selênio em bovinos leiteiros do estado de São Paulo. II Níveis de Selênio nas forragens e concentrados. **Revista da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo**, v. 21, n. 1, p. 71-76, 1984.

MAIS da metade dos brasileiros estava com sobrepeso em 2021. AgênciaBrasil, 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2022-04/mais-da-metade-dos-brasileiros-estava-com-sobrepeso-em-2021>>. Acesso em: 14/07/2022.

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

MALBE, M. *et al.* Comparisons of selenite and selenium yeast feed supplements on Se-incorporation, mastitis and leucocyte function in Se-deficient dairy cows. **Journal of Veterinary Medicine Series A**, v. 42, n. 1-10, p. 111-121, 1995.

MANOS, M.; WILKINSON, J. **Mapeamento de Controvérsias Sócio-técnicas: o Caso da Biofortificação de Alimentos Básicos no Brasil.** CIAIQ2016, v. 3, 2016.

MAO, H. *et al.* Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 14, n. 2, p. 459-470, 2014.

MARSCHNER, H. Zinc uptake from soils. **In: Zinc in soils and plants.** Springer, Dordrecht. p. 59-77, 1993.

MARSCHNER, Horst (Ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. **Academic press**, 2011.

MCGUIRE, S. FAO, IFAD, and WFP. The state of food insecurity in the world 2015: meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Rome: FAO, 2015. **Advances in Nutrition**, v. 6, n. 5, p. 623-624, 2015.

MEENAKSHI, J. *et al.* How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An ex ante assessment. **World Development**, v. 38, n. 1, p. 64-75, 2010.

MIKKELSEN, R. L.; WAN, H. The effect of selenium on sulfur uptake by barley and rice. **Plant and Soil**, v. 121, n. 1, p. 151-153, 1990.

NAMANYA, P. **Towards the biofortification of banana fruit for enhanced micronutrient content**. Tese (Doutorado em Filosofica) - Queensland University of Technology, Queensland, 2011.

NESTEL, P. *et al.* Biofortification of staple food crops. **The Journal of nutrition**, v. 136, n. 4, p. 1064-1067, 2006.

NGIGI, P. *et al.* Agronomic biofortification of maize and beans in Kenya through selenium fertilization. **Environmental geochemistry and health**, v. 41, n. 6, p. 2577-2591, 2019.

O'HARE, T.; FANNING, Kent J.; MARTIN, Ian F. Zeaxanthin biofortification of sweet-corn and factors affecting zeaxanthin accumulation and colour change. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 572, p. 184-187, 2015.

OLIVEIRA, M. **Arroz um alimento de verdade: Fonte de nutrientes, aliado da saúde**, Porto Alegre, 2021.

ORTIZ-MONASTERIO, J. *et al.* Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 3, p. 293-307, 2007.

OZTURK, L. *et al.* Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia plantarum**, v. 128, n. 1, p. 144-152, 2006.

PAINE, J. *et al.* Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. **Nature biotechnology**, v. 23, n. 4, p. 482-487, 2005.

PEDRAZA, D.; SALES, M. Deficiência de zinco: diagnóstico, estimativas do Brasil e prevenção. **Nutrire Rev. Soc. Bras. Aliment. Nutr**, p. 397-408, 2015.

PEREIRA, B.; FERREIRA, B.; PEGORARO, V. **Fatores de risco e associados para a fome oculta de adolescentes em escola pública e privada do DF**. Programa de Iniciação Científica-PIC/UniCEUB-Relatórios de Pesquisa, 2020.

PFEIFFER, W.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, v. 47, p. S-88-S-105, 2007.

PRASAD, R.; SHIVAY, Y.; KUMAR, Dinesh. Agronomic biofortification of cereal grains with iron and zinc. **Advances in agronomy**, v. 125, p. 55-91, 2014.

PUCCINELLI, M.; MALORGIO, F.; PEZZAROSSA, B. Selenium enrichment of horticultural crops. **Molecules**, v. 22, n. 6, p. 933, 2017.

PUTAROV, T. **Avaliação de fontes de selênio e seus efeitos no perfil metabólico e condição reprodutiva de cães**. 2010. 87 f., Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de

Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

QAIM, M.; STEIN, A.; MEENAKSHI, J. Economics of biofortification. **Agricultural Economics**, v. 37, p. 119-133, 2007.

RAFIQUE, E. *et al.* Zinc deficiency in rainfed wheat in Pakistan: magnitude ?? spatial variability, management, and plant analysis diagnostic norms. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, 37, 181– 197, 2006.

RAMOS, S. *et al.* Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface¹. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1347-1355, 2011.

RAYMAN, M. The argument for increasing selenium intake. **Proceedings of the nutrition Society**, v. 61, n. 2, p. 203-215, 2002.

RUGELES-REYES, S. *et al.* Foliar application of zinc in the agronomic biofortification of arugula. **Food Science and Technology**, v. 39, p. 1011-1017, 2019.

REIS, H. *et al.* Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 508-515, 2018.

RENGEL, Z. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 15, n. 2, p. 397-409, 2015.

RÍOS, J. *et al.* Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. **Scientia Horticulturae**, v. 116, n. 3, p. 248-255, 2008.

SALTZMAN, A. *et al.* Biofortification: progress toward a more nourishing future. **Global Food Security**, v. 2, n. 1, p. 9-17, 2013.

SARWAR, N. *et al.* Selenium biofortification in food crops: Key mechanisms and future perspectives. **Journal of food composition and analysis**, v. 93, p. 103615, 2020.

SAYRE, R. *et al.* The BioCassava plus program: biofortification of cassava for sub-Saharan Africa. **Annual review of plant biology**, v. 62, n. 1, p. 251-272, 2011.

SCHREINEMACHERS, P.; SIMMONS, E.; WOPEREIS, Marco CS. Tapping the economic and nutritional power of vegetables. **Global food security**, v. 16, p. 36-45, 2018.

SIPOS, P. *et al.* Sorption of copper, zinc and lead soil mineral phases. **Chemosphere**, v. 73, n. 4, p. 461-469, 2008.

TRUMBO, Paula *et al.* Dietary reference intakes. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 101, n. 3, p. 294-294, 2001.

VENDRAME, P. *et al.* Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 859-864, 2007.

VERGÜTZ, L. *et al.* Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 20-23, 2016.

WELCH, R.; GRAHAM, R. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 396, p. 353-364, 2004.

WELCH, R.; GRAHAM, R.; CAKMAK, I. Linking agricultural production practices to improving human nutrition and health. **FAO/WHO**. Rome, Italy, p. 7-16, 2013.

WESSELER, J.; ZILBERMAN, D. The economic power of the Golden Rice opposition. **Environment and Development Economics**, v. 19, n. 6, p. 724-742, 2014.

WHITE, J.; ZASOSKI, R. Mapping soil micronutrients. **Field crops research**, v. 60, n. 1-2, p. 11-26, 1999.

WHITE, P.; BROADLEY, M. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in plant science**, v. 10, n. 12, p. 586-593, 2005.

WHITE P., BROADLEY M. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets — iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytol.** 182:49-84, 2009.

WHITE, P. *et al.* Limits to the biofortification of leafy brassicas with zinc. **Agriculture**, v. 8, n. 3, p. 32, 2018.

WHO: The World Health Report 2002. Reducing risks, promoting healthy life. Geneva, Switzerland: **World Health Organization**, 1–230, 2002.

YILMAZ A, *et al.* Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. **J Plant Nutr** 21:2257–2264, 1998.

ZHANG, W. forecast analysis on world population and urbanization process. **Environment, Development and Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 717–730, 2008.

ZHU, C. *et al.* Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants. **Trends in plant science**, v. 12, n. 12, p. 548-555, 2007.

ZOU, C. *et al.* Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. **Plant and soil**, v. 361, n. 1, p. 119-130, 2012.

