

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS BIOFORTIFICADAS: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

Thiago Pereira de Paiva **Silva**^{1*}, Roberto Remígio **Florêncio**², Ana Elisa Oliveira dos **Santos**³

¹Agrônomo (UFRN); Especialista em Pós-colheita (IFSERTÃOPE), Gestão Pública (FAVENI).

²Doutor em Educação (UFBA); Mestre em Educação e Cultura (UNEB); Professor IFSERTÃOPE.

³Doutora em Fitotecnia (UFERSA); Professora em IFSERTÃOPE – CPZR.

*Autor para correspondência E-mail: thiago.paiva@aluno.ifserato-pe.edu.br

Recebido: 28. 02. 2024 Aceito: 21. 03. 2024

RESUMO: A biofortificação, estratégia importante no combate à fome oculta, visa a melhoria da qualidade nutricional dos alimentos básicos da denominada “agricultura funcional” pelo aumento dos teores biodisponíveis de vitaminas e nutrientes funcionais em produtos agrícolas a serem colhidos. A adoção dessa técnica tende a resultar em variedades com melhor produtividade, adaptadas ao contexto de mudanças climáticas e com melhores características nutricionais, sensoriais e de pós-colheita. Esta revisão bibliográfica teve como objetivo apresentar e discutir resultados da literatura sobre a qualidade pós-colheita em hortaliças biofortificadas. Os procedimentos metodológicos tiveram como base a Revisão de Literatura, cujo levantamento das publicações mais relevantes acerca do assunto ocorreu através de artigos publicados em periódicos, dissertações, teses, livros, anais de congresso e monografias disponíveis em bases de dados como a Embrapa, Google Acadêmico e repositórios acadêmicos institucionais. Concluiu-se que os estudos que visam determinar o desempenho e a qualidade em hortaliças biofortificadas na pós-colheita são importantes visando a combinação dos caracteres de produtividade, qualidade nutricional, alta durabilidade e sustentabilidade. Os desafios são manter a qualidade e os níveis nutricionais do produto biofortificado pelo maior tempo possível, reduzir perdas no processamento, bem como proporcionar maior tempo de prateleira.

Palavras-Chave: BioFORT. Agricultura funcional. Fome oculta. Hortifruti.

POST-HARVEST QUALITY OF BIOFORTIFIED VEGETABLES: BIBLIOGRAPHICAL REVIEW

ABSTRACT: Biofortification, an important strategy in combating hidden hunger, aims to improve the nutritional quality of basic foods from so-called “functional agriculture” by increasing the bioavailable levels of vitamins and functional nutrients in agricultural products to be harvested. The adoption of this technique tends to result in varieties with better productivity, adapted to the context of climate change and with better nutritional, sensorial and post-harvest characteristics. This bibliographic review aimed to present and discuss results from the literature on post-harvest quality in biofortified vegetables. The methodological procedures were based on the Literature Review, whose survey of the most relevant publications on the subject occurred through articles published in periodicals, dissertations, theses, books, conference annals and monographs available in databases such as the Embrapa, Google Scholar and institutional academic repositories. It is concluded that studies that aim to determine the performance and quality of biofortified vegetables post-harvest are

important, aiming to combine the characteristics of productivity, nutritional quality, high durability and sustainability. The challenges are to maintain the quality and nutritional levels of the biofortified product for as long as possible, reduce processing losses, as well as provide longer shelf life.

Keywords: BioFORT. Functional agriculture. Hidden hunger. Vegetables.

CALIDAD POST-COSECHA DE HORTALIZAS BIOFORTIFICADAS: REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

RESUMEN: La biofortificación, una estrategia importante para combatir el hambre oculta, tiene como objetivo mejorar la calidad nutricional de los alimentos básicos de la llamada “agricultura funcional” aumentando los niveles biodisponibles de vitaminas y nutrientes funcionales en los productos agrícolas que se cosecharán. La adopción de esta técnica tiende a dar como resultado variedades con mejor productividad, adaptadas al contexto de cambio climático y con mejores características nutricionales, sensoriales y poscosecha. Esta revisión bibliográfica tuvo como objetivo presentar y discutir los resultados de la literatura sobre la calidad poscosecha de hortalizas biofortificadas. Los procedimientos metodológicos se basaron en la Revisión de Literatura, cuyo levantamiento de las publicaciones más relevantes sobre el tema se produjo a través de artículos publicados en periódicos, disertaciones, tesis, libros, anales de congresos y monografías disponibles en bases de datos como Embrapa, Google Scholar y repositorios académicos institucionales. Se concluyó que son importantes los estudios que tienen como objetivo determinar el rendimiento y la calidad de los vegetales biofortificados poscosecha, buscando combinar las características de productividad, calidad nutricional, alta durabilidad y sostenibilidad. Los desafíos son mantener la calidad y los niveles nutricionales del producto biofortificado durante el mayor tiempo posible, reducir las pérdidas en el procesamiento y proporcionar una vida útil más larga.

Palabras clave: BioFORT. Agricultura funcional. Hambre oculta. Verduras.

INTRODUÇÃO

Estimativas apontam que 1,3 bilhão de toneladas de alimentos são perdidos ou desperdiçados anualmente no planeta, configurando-se como um dos principais problemas enfrentados pela agricultura mundial, sobretudo no setor de hortifrúti (CEPEA, 2018). No Brasil, cerca de 30 a 45 % do total de hortaliças produzidos são perdidos (HENZ, 2017).

Paralelo a essa realidade, milhares de pessoas se encontram em estado de insegurança alimentar, acometidas por desnutrição ocasionada pela fome oculta ou má nutrição. Entende-se por fome oculta, a carência silenciosa de nutrientes nos alimentos consumidos, especialmente, ferro (Fe), zinco (Zn), iodo (I) e vitamina A, essenciais ao bom desenvolvimento e funcionamento do corpo humano (DUARTE, 2021; VERGUTZ, 2016).

Como forma de atenuar o problema, diversas ações foram desenvolvidas ao longo dos anos. Como exemplo, cita-se o desenvolvimento da técnica de biofortificação, cujo enfoque visa aumentar os teores biodisponíveis de vitaminas e nutrientes funcionais em produtos agrícolas a serem colhidos. Essa estratégia tem se mostrado eficiente, sustentável e de boa aceitação por parte da população.

Em determinadas cultivares agrícolas, o melhoramento genético garantiu a elevação dos níveis de carotenoides, ferro e zinco — denominada biofortificação genética; já quando o método ocorre por aplicações de fertilizantes via solo, foliar ou pelo tratamento tópico de sementes, há a denominação de biofortificação agrônômica — sendo essa uma importante estratégia para complementar e garantir o sucesso dos programas de biofortificação genética (WHITE; BROADLEY, 2009).

O principal objetivo da biofortificação é a melhoria da qualidade nutricional dos alimentos básicos, aqueles consumidos diariamente pela população, por meio do aumento do teor de nutrientes em diferentes partes das plantas, como raízes, folhas e grãos. A ingestão de alimentos biofortificados pode manter teores adequados do nutriente no organismo humano.

No Brasil, destacam-se os estudos de biofortificação em culturas como abóbora, arroz, batata-doce, feijão, feijão-caupi, mandioca, milho e trigo (REDE BIOFORT, 2022), além de outros produtos da denominada “agricultura funcional” — caracterizada pela produção de alimentos que oferecem não apenas funções nutricionais como também benefícios extras à saúde do consumidor (AEASP, 2022).

Contudo, ainda que satisfeitas as exigências de produtividade e a busca pela elevação nutricional em determinadas cultivares, um ponto crucial na produção de alimentos reside nas perdas dos produtos após a colheita. A adoção de técnicas apropriadas para preservação pós-colheita de produtos agrícolas é imprescindível para reduzir perdas e manter a qualidade e segurança de frutas e hortaliças (CAVALLARI; BRITO; LEITE, 2018).

Portanto, alinhando-se os objetivos da biofortificação e da ciência pós-colheita, os estudos que visam determinar o desempenho e a qualidade dos produtos biofortificados são importantes, considerando a redução de perdas e o maior tempo de prateleira, a fim de se atingir a combinação dos caracteres de produtividade, qualidade nutricional, alta durabilidade e sustentabilidade. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi revisar a literatura, referenciar e disponibilizar informações de estudos sobre a qualidade pós-colheita de hortaliças biofortificadas.

O presente trabalho é um modelo de Revisão de Literatura, cujo intuito é criar a contextualização de um problema e analisar os possíveis métodos e técnicas encontradas na

literatura. A revisão bibliográfica abrange dados sobre a “Qualidade pós-colheita em hortaliças biofortificadas” e buscou analisar pesquisas disponíveis na literatura a fim de reunir informações relevantes sobre o tema.

A pesquisa foi viabilizada a partir da seleção de dados obtidos nas seguintes bases de dados: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Google Acadêmico e repositórios acadêmicos institucionais.

Com o objetivo de delimitar a busca, foram definidos os seguintes critérios de inclusão: artigos de todos os tipos publicados em revistas científicas, escritos nos idiomas português, inglês e espanhol, publicados desde o ano 2000 até 2023. Adotou-se ainda os seguintes descritores: “hortaliças biofortificadas”, “cultivares biofortificadas”, “biofortificação”, “biofortificação agrônômica”, “biofortificação genética” e “pós-colheita”.

REFERENCIAL TEÓRICO

A discussão do tema está apresentada em subtópicos que tratam da contextualização, histórico e definição da biofortificação; por fim, apresenta alguns estudos sobre a qualidade pós-colheita em hortaliças biofortificadas.

Em período anterior ao desenvolvimento da agricultura, a alimentação humana baseava-se em uma dieta austera e diversa; dependia do estilo de vida nômade e ocorria com base na caça de animais, geralmente de pequeno porte, além da coleta de frutas, raízes e grãos nativos. Os alimentos eram variados, em decorrência da região que se encontravam e da época do ano. A dieta, embora nutritiva, somente era capaz de sustentar pequenos grupos. A partir da domesticação de espécies vegetais e do desenvolvimento da agricultura, entre 15 a 10 mil anos atrás, houve o incremento produtivo de alimentos, possibilitando o aumento populacional. Contudo, a dieta tornou-se mais monótona.

Nos dias atuais, principalmente em países em desenvolvimento, populações mais vulneráveis sofrem com a insegurança alimentar causada pela dificuldade de acesso aos alimentos ou ainda pela sua baixa diversidade na dieta, o que ocasiona a falta de determinados nutrientes.

A fome oculta é a carência silenciosa de micronutrientes nos alimentos, um grave problema de segurança nutricional no mundo que apresenta alta taxa de morbimortalidade na população pediátrica. Esse problema histórico aumentou com o advento da pandemia de COVID-19, seja pela ausência do grau de nutrientes necessários — a fome oculta — ou pela privação de acesso aos alimentos (FAO *et al*, 2022). O relatório da Organização das Nações Unidas (ONU) de 2021,

apontou que cerca de 12% da população global foi atingida pela insegurança alimentar no ano de 2020 (DUARTE, 2021).

A fim de amenizar o problema da fome oculta, mitigando os efeitos da deficiência de micronutrientes na alimentação, diversas estratégias preventivas foram sendo desenvolvidas ao longo dos anos, as quais incluem a administração de mega doses de vitaminas, a fortificação de alimentos e, mais recentemente, um sistema integrado à agricultura denominado biofortificação (PIXLEY *et al*, 2011). O fomento a essa prática consiste no processo pelo qual a qualidade nutricional dos alimentos de origem vegetal é melhorada por meio biológico, melhoramento convencional ou por meio de práticas agronômicas.

A biofortificação difere da fortificação convencional pois, tem como objetivo, o incremento do nível de nutrientes durante o desenvolvimento da planta e não durante o processamento do alimento, em que ocorre a adição de sais inorgânicos ou, ainda, no caso dos alimentos bioenriquecidos, que podem ter os seus teores nutricionais aumentados com o acréscimo de microorganismos no processamento de alimentos, promovendo o aumento do teor de determinado nutriente pelo efeito indireto da ação desses microorganismos. Assim, a biofortificação pode atingir populações onde as ações de suplementação e fortificação convencional são de difícil implementação e/ou são limitadas. Além do mais, variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos nos países em desenvolvimento, a um custo recorrente inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita (GRAHAM *et al*, 2007).

BREVE HISTÓRICO DA BIOFORTIFICAÇÃO

Em nível mundial, em 2005, foi criado o programa “HarvestPlus” reconhecido como exemplo de sucesso na rede de biofortificação visando o melhoramento das culturas feijão, arroz, milho, mandioca, trigo e batata-doce. Outro programa de biofortificação foi a aliança AgroSalud voltado a América Latina e o Caribe que teve como objetivo desenvolver cultivares de arroz, milho, feijão e batata, eficientes no uso de água e demais insumos agrícolas e de alto valor agronômico. A expectativa foi de o Brasil desenvolver e transferir não apenas cultivos biofortificados, como também, tecnologias pós-colheita (NUTTI, 2011).

No Brasil, a rede de estudos “BioFORT”, gerenciada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), representa um conjunto de projetos responsáveis pela biofortificação de alimentos no país. A rede introduziu a biofortificação nas culturas do trigo, arroz, feijão e feijão caupi

— com teores elevados de Zn e Fe; e nas culturas mandioca, milho, batata-doce e abóbora — com maior teor de β -caroteno (CARVALHO; NUTTI, 2013).

A Rede BioFORT promove a biofortificação a partir do melhoramento convencional, o que tende a resultar em variedades com melhor produtividade e mais adaptadas a contextos de mudanças climáticas (EMBRAPA, 2023). Apesar disso, no Brasil não há regulamentação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para alimentos biofortificados. Em alguns países europeus, asiáticos e africanos, a biofortificação se tornou política pública e os agricultores recebem bonificações do governo para produzir alimentos biofortificados (AEASP, 2022).

Conforme Vergutz (2016), a biofortificação é um método empregado para produzir alimentos com maior valor nutricional das cultivares através do melhoramento de plantas realizado pela forma convencional ou transgenia (biofortificação genética) ou ainda pela adoção de práticas agronômicas usando estratégias de manejo (biofortificação agronômica).

Loureiro *et al* (2018) apontam que a biofortificação genética convencional é a técnica em que ocorre o cruzamento de plantas da mesma espécie que melhor expressam suas características nutritivas e produtivas para que assim possam ser geradas cultivares mais produtivas e nutritivas. A biofortificação por transgenia quando a cultivar é alterada geneticamente com o intuito de enriquecer o vegetal por meio do uso de genes melhorados, aumentando seus potenciais qualitativos e quantitativos.

Já a biofortificação agronômica é obtida por meio da elevação nutritiva do solo e das plantas durante o seu desenvolvimento, não sendo necessário o processo de seleção genética. O ferro (Fe), zinco (Zn), cálcio (Ca) e selênio (Se) são os principais minerais explorados, já que são escassos em dietas à base de plantas. Esse tipo de biofortificação envolve o uso de manejo agronômico adequado, como a utilização de adubos minerais, irrigação adequada, controle de pragas e doenças, rotação de culturas, entre outras. Essas práticas auxiliam na melhor absorção e disponibilidade de nutrientes para as plantas, contribuindo para o aumento no teor de nutrientes nos alimentos (LOUREIRO *et al*, 2018).

Sendo assim, a biofortificação agronômica é uma alternativa mais em conta, alterando apenas a forma de manejo, principalmente na etapa de adubação, já que esse método objetiva o melhoramento dos alimentos através do uso de elementos minerais durante o processo produtivo das culturas (VERGUTZ *et al*, 2016). Para tanto, deve-se levar em conta que a aplicação suplementar de fertilizantes deve ser realizada com base em objetivos claros de manejo, buscando

melhorar características nutricionais, sensoriais e de pós-colheita (LIMA; NASCIMENTO; SOUSA, 2015).

Embora o principal objetivo da biofortificação seja amenizar a fome oculta através da produção e distribuição de alimentos biofortificados (DUARTE, 2021), fatores indiretos se tornaram alvo das pesquisas envolvendo a biofortificação. Por exemplo, há estudos que demonstraram a atuação do selênio (Se) na mitigação do estresse abiótico em plantas quando aplicado em campo (SILVA *et al*, 2020). López-Morales *et al* (2021) concluíram que aplicação de zinco (Zn) pode proporcionar aumento na concentração de fenóis e flavonoides, além de melhorar a capacidade antioxidante em feijão-caupi.

Há estudos que indicam os benefícios da biofortificação na qualidade pós-colheita de hortaliças. Puccinelli, Malorgio e Pezzarossa (2017) evidenciaram que a utilização de selenato e selenito de sódio é de grande influência em proporcionar acúmulo de selênio (Se) quando aplicado em hortaliças, além dos 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.

Outros estudos demonstram que o fornecimento do silício (Si) em solução nutritiva, em especial hortaliças, tem demonstrado resultados satisfatórios, aumentando a firmeza do tecido foliar e vida pós-colheita de plantas de alface (GALATI *et al*, 2015); como apresentou efeito significativo sobre a qualidade pós-colheita da couve-flor (CURVELO *et al*, 2019).

Já o cálcio (Ca), macronutriente com papel importante na firmeza de todos os órgãos da planta para sua manutenção e na qualidade pós-colheita de hortaliças e de frutas, atua diminuindo a taxa de senescência foliar, evitando deterioração das membranas mais precocemente (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Pesquisas sobre biofortificação têm sido realizadas em diversas hortaliças. A Embrapa, por exemplo, através da Rede BioFORT já desenvolveu diversos projetos de biofortificação genética em espécies de hortaliças de propagação vegetativa e que produzem raízes, tubérculos e rizomas. Na literatura, há registros de estudos com biofortificação agrônômica em hortaliças folhosas que indicam que as famílias Brassicaceae, Euphorbiaceae e Asteraceae, nas quais há uma vasta gama de espécies de hortaliças folhosas, contém plantas hiperacumuladoras de elementos minerais, incluindo zinco (CAPPA; PILON-SMITHS, 2014). Desse modo, citam-se alguns estudos com biofortificação com zinco em rúcula (RUGELES REYES, 2017); alface (LIMA, 2021) e alface crespa (GRACIANO, 2019); além de estudos de biofortificação com ferro em rúcula, repolho roxo e mostarda vermelha (DI GIOIA *et al.*, 2019).

Além desses, citam-se os trabalhos de biofortificação em hortaliças-bulbo: cebola com selênio; biofortificação em hortaliças-raízes: beterraba com zinco (CARMONA, 2018); biofortificação em hortaliças-fruto: tomate com silício (SANTOS, 2018); biofortificação em hortaliças-flor: couve-flor com selênio (DUTRA, 2017) e biofortificação em hortaliças não convencionais (OLIVEIRA, 2020).

Como o crescimento e o aspecto visual pós-colheita das hortaliças depende diretamente do seu estado nutricional, além dos nutrientes considerados essenciais, o fornecimento de elementos benéficos pode aumentar a produção e a qualidade pós-colheita de hortaliças (CHITARRA; CHITARRA, 2005; SOUZA et al., 2019), caso do selênio e do silício.

QUALIDADE PÓS-COLHEITA EM HORTALIÇAS BIOFORTIFICADAS

Nesse tópico, apresentamos os resultados de pesquisas que avaliaram a qualidade pós-colheita em hortaliças biofortificadas (Quadro 1).

Quadro 1. Pesquisas utilizadas como referência sobre qualidade pós-colheita de hortaliças biofortificadas.

Pesquisa	Autor
Stability of carotenoids, total phenolics and in vitro antioxidant capacity in the thermal processing of orange-fleshed sweet potato (<i>Ipomoea batatas</i> Lam.) cultivars grown in Brazil.	Donado-Pestana (2012)
Uso de atmosfera modificada associado à refrigeração para batata-doce (<i>Ipomoea batata</i>) colorida biofortificadas.	Barbosa (2023)
Fontes e concentrações de silício foliar na produção e na qualidade da acelga e da couve.	Souza (2018)
Resistência vertical e horizontal de progênies F5: 6 de alface biofortificada a raças de <i>Bremia lactucae</i> .	Jacinto (2018)
Dissimilaridade, parâmetros genéticos, índices de seleção e resistência a <i>Meloidogyne</i> spp. em alface biofortificada.	Sousa (2020)
Produção, morfofisiologia e qualidade de cebola sob salinidade e aplicação de silício.	Venancio (2021)
Biofortificação do tomateiro com silício via foliar pulverização foliar com diferentes fontes.	Santos (2018)
Influência do congelamento e tempo de estocagem na preservação dos carotenoides totais em abóbora.	Góis et al. (2016)
Biodisponibilidade dos carotenoides pró-vitamínicos a em abóboras biofortificadas (<i>Cucurbita moschata</i> Duch).	Carvalho et al. (2015)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As informações estão disponibilizadas de acordo com o tipo de hortaliça biofortificada, seja pelo método de biofortificação genética ou agronômica, cujas pesquisas tiveram, dentre os

objetivos, avaliar a qualidade dos produtos hortícolas no pós-colheita.

Batata-doce

As pesquisas elencadas a seguir tratam dos efeitos do processamento bem como o uso de tecnologias pós-colheita visando o maior tempo de prateleira em batata-doce biofortificada.

Quanto aos efeitos do processamento sobre a disponibilidade de carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante em quatro cultivares de batata-doce biofortificadas (CNPH 1007, CNPH 1194, CNPH 1202 e CNPH 1205), Donado-Pestana (2012) concluiu que todas as cultivares avaliadas apresentaram altos teores de carotenoides, com predominância do All-trans- β -caroteno, sugerindo alta atividade estimada de vitamina A.

Conforme a literatura analisada, o autor destaca que há uma discussão ampla de que a biossíntese de carotenoides e sua concentração nas plantas e, conseqüentemente nos alimentos, representa um conjunto de fatores genéticos e/ou ambientais podendo ser afetados pela variedade, genótipo, estação, localização geográfica, estado de maturidade, condições ou práticas do cultivo, processamento e armazenamento. Em batata-doce, o mecanismo para a sintetização de carotenoides aparenta ser um fator genético embora fatores com menor influência também afetam o conteúdo dos compostos carotenoides, como o tempo de colheita que é um fator crucial na influência do conteúdo de carotenoides em batata-doce, sugerindo que o outono é a época ótima para a colheita devido à presença de maiores teores destes componentes. Os altos valores obtidos por Donado-Pestana (2012) também podem ser atribuídos à biossíntese de carotenoides após a colheita, considerando que, conforme Rodriguez-Amaya (1997) a biossíntese pode continuar em frutas, vegetais e raízes mesmo após a colheita devido à influência da atividade das enzimas responsáveis pela carotenogênese.

Barbosa (2023) avaliou o uso de atmosfera modificada associado à refrigeração de batata-doce, cultivares Amélia e Beauregard, visando prolongar a sua conservação considerando a comercialização à mercados mais distantes. No acondicionamento das batatas foram utilizados sacos de polipropileno medindo 30cm x 50cm, sendo o controle a batata-doce não embalada. O autor simulou a refrigeração em contêineres marítimos mantendo as batatas a temperatura de 8°C por 14 dias. Após esse período, transferiu as batatas para condições de temperatura ambiente, mantendo-as a aproximadamente 21°C por 12 dias (simulando gôndolas de supermercados). Foram feitas avaliações com e sem embalagem em 7 períodos de armazenamento (0, 7, 14, 17, 20, 23 e 26 dias). Foram consideradas as variáveis: avaliação visual, cor, firmeza, perda de massa fresca,

vitamina C e compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante DPPH e FRAP e teor de amido. O autor concluiu que a refrigeração por 14 dias associada ao uso da embalagem plástica foi uma estratégia eficaz para manter a qualidade em batata-doce biofortificada pois permitiu minimizar a desidratação, manteve mais estáveis fitoquímicos antioxidantes, como vitamina C, compostos fenólicos e carotenoides, mesmo nos tecidos cozidos. Nas condições estudadas, as cultivares Beauregard e Amélia mantiveram, em condição ambiente, adequado aspecto visual por até 26 e até 17 dias de prateleira, respectivamente. Sendo assim, simulando a comercialização em mercados mais distantes, a cultivar Beauregard apresentou maior potencial para exportação enquanto que a cultivar Amélia é indicada para comercialização em mercados menos distantes e exigentes em aparência.

Cebola

Venancio (2021) avaliou os efeitos da fertilização com silício (Si) associado a salinidade da água de irrigação no cultivo da cebola em região semiárida sob a qualidade dos bulbos e a vida de prateleira pós-colheita. Na avaliação da vida de prateleira da cebola, os bulbos permaneceram armazenados por 60 dias após a colheita, sendo avaliados em quatro níveis de tempo de prateleira (0; 20; 40 e 60 dias após a colheita). De acordo com o autor, o estresse salino e o fornecimento de silício afetaram a fisiologia das plantas e dos bulbos pós-colheita em condições de armazenamento em prateleira. O estresse salino e o tempo de prateleira induziram a redução de firmeza, pH e relação SS/AT, afetou diferencialmente os teores de açúcares solúveis, concentração de sólidos solúveis e acidez titulável, bem como as concentrações dos ácidos ascórbico e pirúvico. Já a biofortificação com silício melhorou a relação SS/AT, na ausência de salinidade, ao passo que, sob condições de salinidade, promoveu redução de SS/AT. A adubação com silício contribuiu para melhorar as respostas aclimatativas da cebola sob estresse do ambiente semiárido e salinidade. Com relação a qualidade dos bulbos, ainda que a salinidade resulte em perdas de qualidade palatável, o autor destaca que a adubação com silício pode melhorar o sabor da cebola cultivada sob salinidade, promovendo melhor equilíbrio entre adstringência e doçura dos bulbos após o cozimento ou melhorando o fundo aromático de saladas e pratos culinários mediante aumento da expressão pungente. Assim, tanto o aumento de salinidade da água de irrigação quanto o manejo da adubação com silício podem ser utilizados na cebola para fins de biofortificação de vitamina C, promovendo o aumento na concentração do ácido ascórbico durante a vida de prateleira, até aproximadamente 36 dias de armazenamento.

Tomate

A pulverização de tomateiro com silício pode promover a biofortificação do fruto, associando-se à melhora na qualidade pós-colheita, a depender da fonte e da concentração do elemento na calda. Essa foi a conclusão obtida por Santos (2018), avaliando a obtenção de tomates biofortificados via pulverização foliar com silício, em diferentes fontes e concentrações e sua qualidade tecnológica. A autora concluiu que a pulverização com silício, a partir do florescimento do tomateiro, promoveu a biofortificação e a melhoria na qualidade tecnológica dos frutos (sólidos solúveis, ácido ascórbico, acidez titulável e firmeza). Esse resultado é justificado pois o silício atua na conservação pós-colheita de frutos de tomate tratados com as fontes silicato de potássio, sódio e cálcio em que outros estudos apontam melhorias na qualidade e nas propriedades pós-colheita e físico-químicas dos frutos, como os sólidos solúveis, firmeza, teor de vitamina C e de licopeno (MARODIN *et al*, 2016), além de aumentar o rendimento e reduzir os frutos de tomate rachados/danificados (MARODIN *et al*, 2014). Islam *et al* (2018), avaliando a pulverização foliar com silício, na qualidade do tomateiro, na concentração de 17 mM (Si) na forma de dióxido de silício, pulverizando 50 mL na planta inteira, uma vez por semana durante cinco semanas, demonstraram que o silício diminuiu a respiração e o etileno em frutos de tomate, aumentou a firmeza no momento da colheita e sua manutenção após o armazenamento, ocasionando menor perda de peso fresco e aumento do teor de vitamina C e da vida útil.

Abóbora

A abóbora é um alimento considerado fonte de carotenoides com atividade pró-vitáminica A. Contudo, os carotenoides são facilmente degradados e a concentração desses compostos pode ser reduzida pela presença de luz, ácidos, oxigênio, altas temperaturas e o tempo pós-colheita (GÓIS *et al*, 2016; CARVALHO *et al*, 2015). Em frutos de variedades tradicionais de abóbora, Góis *et al*. (2016) avaliaram a influência do tempo e da temperatura de congelamento na preservação dos carotenoides. Os autores constataram que as médias do teor de carotenoides totais determinadas no momento do processamento do fruto não diferiram estatisticamente das médias obtidas pela análise das amostras conservadas a -4°C em 1 e 2 meses.

Já em abóboras biofortificadas, Carvalho *et al*. (2015) verificaram elevados teores de carotenoides (>200 µg/g) e retenção superior a 78% após os métodos de cozimento. A conclusão

foi que mesmo com baixa bioacessibilidade, as abóboras biofortificadas são fontes de vitamina A, podendo fornecer acima de 40% das necessidades diárias recomendadas, em porção de 100 gramas, para crianças de 4 à 8 anos de idade. Contudo, os autores afirmam que são necessários mais estudos a fim de melhorar a liberação dos carotenoides a partir da matriz alimentar.

Hortaliças-folhosas

Em hortaliças folhosas, os estudos tratam da biofortificação com uso do silício, considerado um elemento benéfico às plantas podendo incrementar seu crescimento em condições de estresse e ainda refletir na qualidade. De acordo com Mello Prado (2021) a resposta das plantas ao silício é mais significativa em sistemas de produção com algum tipo de estresse. A biofortificação com silício em hortaliças folhosas pode prolongar a vida de prateleira ao diminuir a perda de água durante o armazenamento.

Avaliando fontes e concentrações de silício (Si) foliar na produção e na qualidade da acelga e da couve, Souza (2018) concluiu que a aplicação de Si foliar é viável para hortaliças folhosas de acelga e couve, pois incrementou o teor e o acúmulo do elemento, o crescimento e a produção, além de melhorar a qualidade das folhosas, inclusive quanto à biofortificação, destacando-se a concentração de Si foliar de 2,52 g/L na forma de silicato de potássio. O autor avaliou a aplicação foliar de silicato de potássio (SiK) e silicato de potássio e sódio estabilizado (SiNaK). Na acelga, as duas fontes de Si diminuíram a perda de água em relação ao controle (sem Si). Já na couve, o emprego do Si foliar das duas fontes promoveu menor perda de água em relação ao controle, mas apenas no último dia de armazenamento. O efeito benéfico do Si em diminuir a perda de água do tecido vegetal das hortaliças pode estar relacionado à formação de opala na parede celular das células epidérmicas, que já foi relatada devido à diminuição da transpiração (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004) e devido ao aumento da rigidez dos tecidos.

Em avaliação sobre o fornecimento do silício (Si) como alternativa para atenuar os efeitos dos danos causados pela deficiência nutricional de cálcio (Ca) visando aumentar compostos de defesa não enzimáticos e a qualidade pós-colheita nas plantas de repolho e de rúcula, Silva (2021) propôs como hipótese melhor compreender a relação do Si e do cálcio nas hortaliças considerando que o fornecimento de silício nas plantas deficientes de cálcio poderia aumentar a produção de matéria seca, devido ao incremento de compostos antioxidantes (ácido ascórbico) e de pigmentos, favorecendo acúmulo de biomassa e se refletindo na menor perda de água após a colheita, em razão da maior firmeza das folhas, aumentando a vida de prateleira destas hortaliças. A conclusão

foi que o silício atenuou a deficiência de cálcio aumentando o conteúdo de ácido ascórbico, o crescimento e a qualidade das folhas de repolho e atenuou a deficiência de cálcio em plantas de rúcula aumentando a produção de compostos antioxidantes. Desse modo, com a adição de silício à solução de cultivo, ocorreu o aumento do conteúdo de ácido ascórbico (AsA) e da firmeza dos tecidos em ambas as hortaliças; dos fenóis totais e carotenoides, além da eficiência quântica do fotossistema II em rúcula, diminuindo o índice de extravasamento celular nas duas culturas e promovendo maior qualidade destas hortaliças pós-colheita.

A aplicação foliar de silício também apresentou viabilidade para a biofortificação em alface (RESENDE *et al*, 2005) e rúcula (GUERRERO; DA SILVA BORGES; FERNANDES, 2011) e refletiu na qualidade pós-colheita do repolho com maiores médias dos valores de grau Brix, maior pH, menor acidez titulável total, menor escurecimento, menor perda na cor verde e menor perda de matéria fresca (SOUZA, 2014), além de influenciar na melhoria da conservação pós-colheita de alface americana em cultivo de verão aos 20 dias em câmara frigorífica a 5 ± 2 °C (RESENDE *et al*, 2007).

Uma das hortaliças folhosas mais consumidas no mundo, a alface (*Lactuca sativa* L.) apresenta alto valor nutritivo, no entanto, as cultivares normalmente apresentam baixo teor de carotenoides, precursor da vitamina A. Dessa forma, a estratégia de biofortificação pode favorecer a elevação desses teores. Contudo, de acordo com Jacinto (2018), no Brasil, são poucas as pesquisas que aliam biofortificação da alface com resistência às doenças. A autora avaliou a resistência vertical e horizontal de progênies F5:6 de alface biofortificada a raças 1, 2 e 3 de *Bremia lactucae*, fitopatógeno causador do míldio, considerada uma das doenças fúngicas mais importantes da cultura. Essa doença afeta a qualidade da folhosa visto que os sintomas se manifestam nas folhas com áreas cloróticas, de tamanho variável, evoluem para pontos necróticos, de cor parda bem como apresenta esporulação de cor branca, constituído de esporangióforos e esporângios, na face abaxial das folhas (KIMATI *et al*, 2005). Desse modo, Jacinto (2018) avaliou a Resistência vertical e horizontal de progênies F5:6 de alface biofortificada a raças 1, 2 e 3 de *Bremia lactucae*. A hipótese da autora foi combinar a resistência vertical e horizontal como uma das estratégias para aumentar a durabilidade da resistência de cultivares de alface ao míldio. O experimento, realizado em delineamento estatístico inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas no tempo, utilizou os genótipos de alface (Solaris, Crespa 75#2, Crespa 189#2, Crespa 206#1, Lisa 66#3, Lisa 66#7, Lisa 215#3, Lisa 215#6, Lisa 215#10, Lisa 215#12, Lisa 215#13, Lisa 215# 14) no tempo (do 7° ao 18° dia após a inoculação). A autora concluiu que as progênies F5:6 de alface biofortificada não apresentaram resistência vertical às raças de *Bremia lactucae* avaliadas,

em razão de apresentarem necrose e/ou esporulação em algum momento, ao longo dos dias de avaliação. No caso da resistência horizontal apresentada em alguns genótipos, em grande parte, foi suplantada ao longo dos dias: os genótipos 189#2, 215#3 e 215#14 apresentam níveis de resistência horizontal para todas as raças de *Bremia lactucae* avaliadas. Os genótipos 206#1 e 66#7 apresentaram níveis de resistência horizontal apenas para as raças 1 e 2, respectivamente. O genótipo 215#10 apresentou níveis de resistência horizontal apenas para as raças 2 e 3 de *Bremia lactucae*.

A importância do desenvolvimento de cultivares além do aspecto de biofortificação, pode ser pensada visando a resistência à fitopatógenos. Na cultura do alface, por exemplo, o nematoide das galhas é um dos principais problemas que afetam o cultivo, com destaque para o gênero *Meloidogyne* que pode debilitar totalmente a planta devido à formação de galhas nas raízes (CARVALHO FILHO *et al*, 2011). Visando avaliar a resistência a *Meloidogyne* spp. em alface biofortificada, utilizando genótipos provenientes de programa de melhoramento e comerciais, Sousa (2020) selecionou genótipos superiores com bom potencial produtivo, aliado a boas características nutricionais e resistentes a *Meloidogyne* spp., promissores para serem usados em futuros programas de melhoramento genético e para serem lançadas como novos cultivares de alface biofortificada. A autora avaliou 91 genótipos, sendo 86 linhagens de alface provenientes da hibridação entre as cultivares Pira 72 versus Uberlândia 10000 (rica em carotenoide) e cinco testemunhas, sendo quatro cultivares comerciais: cv. Grand Rapids, cv. Pira 72, cv. Robusta e cv. UFU-Biofort (testemunhas com potencial comercial e baixo teor de carotenóides) e Uberlândia 10000, testemunha rica em carotenóides. Dentre os genótipos utilizados destacaram-se: 189#3#4-E, 189#3#2-E, 86#1#2-E, 120#1#1-E, 189#3#1-E, 107#1#1-E, 197#1-E, 199#2#2-E, 189#2#2-E, 197#2#2-E, 199#1#1-E e 199#3#1-E apresentando resistência a *Meloidogyne* spp. semelhante a cultivar Grand Rapids, considerada resistente.

CONCLUSÃO

Novas pesquisas podem ser desenvolvidas a fim de se avaliar a manutenção dos teores de vitaminas e minerais após o armazenamento e processamento dos alimentos biofortificados. Além disso, podem ser desenvolvidas pesquisas visando o desenvolvimento e o uso de tecnologias pós-colheita adaptadas às diferentes hortaliças biofortificadas visando prolongar a sua conservação, aumentar o tempo de prateleira, bem como permitir sua comercialização em mercados mais distantes, nos casos de hortaliças menos perecíveis.

O alinhamento dos objetivos da biofortificação e da ciência pós-colheita é uma ação importante que visa a Segurança Nutricional e Alimentar, a redução de perdas e o maior tempo de prateleira dos produtos, estando em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU.

REFERÊNCIAS

AEASP, Associação de Engenheiros Agrônomos do Estado de São Paulo. *Alimentos biofortificados: força no prato dos brasileiros*. 2022. Disponível em: <https://aeasp.org.br/alimentos-biofortificados-forca-no-prato-dos-brasileiros/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BARBOSA, E. S. *Uso de atmosfera modificada associado à refrigeração para batata-doce (Ipomoea batata) colorida biofortificadas*. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró-RN, 2023.

CARMONA, V. M. V. *Fortificação da batata e biofortificação agrônômica da beterraba com zinco*. Tese de Doutorado em Agronomia. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Jaboticabal, 2018.

CAPPA, J. J.; PILON-SMITS, E. A. H. Evolutionary aspects of elemental hyperaccumulation. *Planta*, v. 239, p. 267-275, 2014.

CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R. *Biofortificação de produtos agrícolas para nutrição humana*. EMBRAPA, 2012.

CARVALHO, L. M. J. et al. *Biodisponibilidade dos carotenoides pró-vitamínicos a em abóboras biofortificadas (Cucurbita moschata Duch)*. EMBRAPA, 2015.

CARVALHO FILHO, J. L. S. et al. Resistance to *Meloidogyne incognita* race 1 in the lettuce cultivars Grand Rapids and Salinas-88. *Euphytica, Dordrecht*, v. 182, n. 2, p. 199-208, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0429-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-011-0429-7>. Acesso em: 15 dez. 2023.

CAVALLARI, L. G.; DE BRITO, P. R. O.; DE CAMPOS LEITE, V. Deficiências do manejo pós-colheita de frutas e hortaliças no Brasil. In: *VII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica*. 2018.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Anuário Hortifruti Brasil: Top 10 do consumo de HF. *Hortifruti Brasil*, n. 176, p.34, 2018.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A.B. *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

CURVELO, C. R. S.; FERNANDES, E. F.; DINIZ, L. H. B.; PEREIRA, A. I. A. Desempenho agrônômico da couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) em função da adubação silicatada. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 6, n. 1, p. 87-91, 2019.

DI GIOIA, F. et al. Zinc and iron agronomic biofortification of *Brassicaceae* microgreens. *Agronomy*, v. 9, n. 11, p. 677, 2019.

DONADO-PESTANA, C. M. et al. Stability of carotenoids, total phenolics and in vitro antioxidant capacity in the thermal processing of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) cultivars grown in Brazil. *Plant foods for human nutrition*, v. 67, p. 262-270, 2012.

DUARTE, V. L. *Alimentos biofortificados na merenda escola: relato sobre o projeto cooperar e crescer*. Monografia de Graduação curso de Bacharelado em Agronomia. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS. Cachoeira do Sul, 2021.

DUTRA, A. F. *Selênio no desempenho fisiológico e biofortificação agrônômica da couve-flor*. Tese de Doutorado. Instituto Brasileiro de Informação e Ciência em Tecnologia – IBTCT, 2017.
EMBRAPA. *Arroz, trigo e abóbora serão os próximos alimentos a serem biofortificados com micronutrientes pela Embrapa*. 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/83938591/arroz-trigo-e-abobora-serao-os-proximos-alimentos-a-serem-biofortificados-com-micronutrientes-pela-embrapa?link=agencia&fbclid=PAAabTvltsGE0oYi1KsNPc8pw-Ot_RyvRvHyqHI470yp0NFFDLUZ3BB3hQyal. Acesso em: 25 out. 2023.

FAO et al. *The state of food insecurity in the world 2022: Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable*; Roma: FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cc0639en/cc0639en.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2023.

GALATI, V. C. et al. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana 'Lucy Brown' minimamente processada. *Ciência Rural*, v. 45, p. 1932-1938, 2015.

GÓIS, G. R. et al. Influência do congelamento e tempo de estocagem na preservação dos carotenoides totais em abóbora. *Relatório Embrapa 2016*. EMBRAPA, 2016.

GRACIANO, P. D. et al. *Biofortificação agrônômica com zinco em cultivares de alface crespa*. Dissertação de Mestrado – Instituto Agrônômico – IAC, 2019.

GRAHAM, R. D. et al. Nutritious subsistence food systems. *Advances in agronomy*, v. 92, p. 1-74, 2007.

GUERRERO, A. C.; DA SILVA BORGES, L.; FERNANDES, D. M. Efeito da aplicação foliar de silício em rúcula cultivada em dois tipos de solos. *Bioscience Journal*, v. 27, n. 4, p. 591-596, 2011.

HENZ, G. P. Postharvest losses of perishables in Brazil: what do we know so far? *Horticultura Brasileira*, v. 35, p. 6-13, 2017.

ISLAM, M. Z.; MELE, M. A.; KANG, H.-M. Gaseous, physicochemical and microbial performances of silicon foliar spraying techniques on cherry tomatoes. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, v. 40, n. 2, p. 185-192, 2018.

JACINTO, A. C. P. et al. Resistência vertical e horizontal de progênies F5: 6 de alface biofortificada a raças de *Bremia lactucae*. 2018.

KIMATI, H. et al. *Manual de Fitopatologia*. Volume 2. Doenças das Plantas Cultivadas. 4ª Edição. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 2005. 666.p.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. *Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura*. 3. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 28 p. (Boletim Técnico, 01).

LIMA, B. M. de. *Biofortificação agrônômica de alface com zinco em cultivo hidropônico*. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal e Bioprocessos – Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, São Carlos, 2021.

LIMA, F. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUSA, C. S. Zinc fertilization as an alternative to increase the concentration of micronutrients in edible parts of vegetables. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 3, p. 403-408, 2015.

LÓPEZ-MORALES, D. et al. Impact of agronomic biofortification with zinc on the nutrient content, bioactive compounds, and antioxidant capacity of cowpea bean (*Vigna unguiculata* L. Walpers). *Agronomy*, v. 10, n. 10, p. 1460, 2020.

LOUREIRO, M. P. et al. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? *Segurança Alimentar e Nutricional*, v. 25, n. 2, p. 66-84, 2018.

MARODIN, J. C. et al. Tomato post-harvest durability and physicochemical quality depending on silicon sources and doses. *Horticultura Brasileira*, v. 34, p. 361-366, 2016.

MARODIN, J. C. et al. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Horticultura Brasileira*, v. 32, p. 220-224, 2014.

MELLO PRADO, Renato. *Nutrição de plantas*. Editora Unesp, 2021.

NUTTI, M. R. *A história dos Projetos HarvestPlus, AgroSalud e BioFORT no Brasil*. www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/916288/a-historia-dos-projetos-harvestplus-agrosalud-e-biofort-no-brasil. EMBRAPA, 2011.

OLIVEIRA, J. G.; VITÓRIA, A. P. Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International*, v. 44, n. 5, p. 1306-1313, 2011.

OLIVEIRA, L. C. P. et al. Efeito da adubação silicatada em hortaliças não convencionais. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 19, n. 2, p. 224-229, 2020.

PIXLEY, K. et al. Maize Harvest Plus: biofortifying maize with provitamin A carotenoids. *IV Reunião de Biofortificação*. Embrapa, Teresina, Piauí, 2011.

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

REDE BIOFORT. *Variedades biofortificadas da Embrapa*. 2022. Disponível em: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/11dApOiuUbwjpPYAFdWZETFIKWxq3gTQd9Hk4Dc0q1oq/edit#gid=2051260413>. Acesso em: 25 set. 2023. EMBRAPA, 2022.

RESENDE, G. M. *et al.* Produção de alface americana em função de doses e épocas de aplicação de Supa Potássio®. *Horticultura Brasileira*, v. 23, p. 174-178, 2005.

RIBEIRO, A. R. A.; BORGES, A. R. Relação entre os metais potencialmente tóxicos e o consumo de hortaliças no Brasil: uma revisão sistemática. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 7, p. 50445-50457, 2022.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. *Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed and stored foods*. Arlington, VA: John Snow Incorporated/OMNI Project, 1997.

RUGELES REYES, S. M. *Aplicação foliar de zinco na biofortificação de rúcula*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2017.

SANTOS, M. M. M. *Biofortificação do tomateiro com silício via foliar pulverização foliar com diferentes fontes*. Dissertação de Mestrado. Instituto Brasileiro de Informação e Ciência em Tecnologia – IBTCT, 2018.

SILVA, D. L. *Relação do cálcio e do silício na produção de matéria seca e na qualidade de plantas de repolho e de rúcula*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista – UNESP 2021.

SILVA, V. M. *et al.* Selenate and selenite affect photosynthetic pigments and ROS scavenging through distinct mechanisms in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) walp) plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 201, p. 110777, 2020.

SOUSA, L. A. *Dissimilaridade, parâmetros genéticos, índices de seleção e resistência a Meloidogyne spp. em alface biofortificada*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia, 2020.

SOUZA, J. Z. *Fontes e concentrações de silício foliar na produção e na qualidade da acelga e da couve*. Dissertação de Mestrado – UNESP. São Paulo, 2018.

SOUZA, J. Z. *et al.* Silicon leaf fertilization promotes biofortification and increases dry matter, ascorbate content, and decreases post-harvest leaf water loss of chard and kale. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 50, n. 2, p. 164-172, 2019.

SOUZA, R. S. *Efeitos da aplicação de silício sobre a qualidade pós-colheita do repolho (Brassica oleracea var. Capitata L.) durante o armazenamento*. 2014. 34 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

VENÂNCIO, J. B. *Produção, morfofisiologia e qualidade de cebola sob salinidade e aplicação de silício*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2021.

VERGUTZ, L. *et al.*; Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. *Boletim informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. v. 42, n. 2, p. 20-23, 2016.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, v. 182, n. 1, p. 49-84, 2009.