

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

IZAIAS CARVALHO DE SOUSA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE SELÊNIO PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE DA UVA DE MESA**

Ilha Solteira
2024

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

IZAIAS CARVALHO DE SOUSA

**APLICAÇÃO FOLIAR DE SELÊNIO PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE DA UVA DE MESA**

Categoria do trabalho (Dissertação) apresentada à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Agronomia. Especialidade:
Ecofisiologia e estresse de plantas.

Prof. PhD. André Rodrigues dos Reis
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

S725a Sousa, Izaías Carvalho.
Aplicação foliar de selênio para aumento de produtividade e qualidade da
uva de mesa / Izaías Carvalho Sousa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
39 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2024

Orientador: André Rodrigues dos Reis
Inclui bibliografia

1. *Vitis vinifera*. 2. Selenato de sódio. 3. Semiárido. 4. Antioxidantes. 5.
Estresses.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO FOLIAR DE SELÊNIO PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA UVA DE MESA

AUTOR: IZAIAS CARVALHO DE SOUSA

ORIENTADOR: ANDRÉ RODRIGUES DOS REIS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em null, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ANDRÉ RODRIGUES DOS REIS
Data: 03/09/2024 12:05:01-0300
Verifique em <https://validar.idi.gov.br>

Prof. Dr. ANDRÉ RODRIGUES DOS REIS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE

Prof. Dr. VINICIUS MARTINS SILVA (Participação Virtual)
Agronomia / Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos - UNIFIO

Documento assinado digitalmente
 VINICIUS MARTINS SILVA
Data: 03/09/2024 12:37:11-0300
Verifique em <https://validar.idi.gov.br>

Prof. Dr. RAFAELA RIBEIRO DE SOUZA (Participação Virtual)
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF

Documento assinado digitalmente
 RAFAELA RIBEIRO DE SOUZA
Data: 04/09/2024 10:11:19-0300
Verifique em <https://validar.idi.gov.br>

Ilha Solteira, 02 de setembro de 2024

Impacto potencial desta pesquisa

Este trabalho oferece contribuições importantes para a viticultura brasileira e internacional, destacando a aplicação do selênio como estratégia inovadora para melhorar a qualidade da uva. O selênio, ao melhorar a fotossíntese e aumentar a resistência da planta ao estresse, impacta positivamente o ciclo de carboidratos, resultando em frutos de maior qualidade. A pesquisa demonstrou que a utilização do selênio pode promover avanços na viticultura, refletindo-se em uma produção mais competitiva. Esses resultados justificam a adoção do selênio como um recurso valioso para a melhoria da qualidade da uva e a elevação da competitividade do setor vitivinícola no mercado global.

Potential impact of this research

This work offers significant contributions to both Brazilian and international viticulture, highlighting the application of selenium as an innovative strategy to improve grape quality. Selenium, by enhancing photosynthesis and increasing the plant's resistance to stress, positively impacts the carbohydrate cycle, resulting in higher-quality fruits. The research demonstrated that the use of selenium can promote advancements in viticulture, leading to a more competitive production. These results justify the adoption of selenium as a valuable resource for improving grape quality and boosting the competitiveness of the viticulture sector in the global market.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a toda a minha família, que me acompanhou e apoiou ao longo de todo o meu percurso de formação profissional. Agradeço especialmente a meus pais, Francisco Barbosa Carvalho e Francisco José do Nascimento de Sousa, e a meu irmão, André Carvalho de Sousa, por sempre priorizarem minha educação e formação, tanto como ser humano quanto como profissional.

Minha sincera gratidão à equipe do Laboratório Physiotek e ao Grupo de Estudos em Fisiologia Agrícola (GEFA), com um agradecimento especial ao meu orientador, Dr. André Rodrigues dos Reis, que me guiou e apoiou durante todo o processo.

Agradeço também a todos os profissionais e professores da UNESP - Ilha Solteira, que com tanto amor e carinho me acolheram e me orientaram durante minha estadia.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos os funcionários da Fazenda Galdino, que, com grande dedicação e empenho, contribuíram para a condução e sucesso deste experimento. Um agradecimento especial ao consultor Jandielton Lubarino, por toda a confiança e comprometimento em viabilizar a realização deste trabalho.

Sou grato à equipe do Grupo de Estudo e Pesquisa em Ecofisiologia e Estresse de Plantas (GEESP), em especial à coordenadora, Dr. Ana Rita Leandro Santos, pelo apoio, cooperação e parceria durante o desenvolvimento deste trabalho.

Finalmente, agradeço a CAPES, na Portaria CAPES n. 206, de 4 de setembro de 2018, pelo financiamento da pesquisa.

RESUMO

O selênio (Se) exerce papel em diversas áreas da fisiologia vegetal, atuando como antioxidante e melhorando a função dos cloroplastos. Sua aplicação tem demonstrado aumentar a eficiência fotossintética, o que, por sua vez, pode contribuir para um maior acúmulo de açúcares nos frutos. Além disso, o selênio influencia positivamente a qualidade das frutíferas, aumentando a resistência das plantas ao estresse abiótico e promovendo um aumento na produtividade. Em culturas como a uva, o selênio tem se mostrado eficaz na melhoria da qualidade dos frutos, tornando-os mais nutritivos e com características organolépticas superiores, refletindo-se em maior rentabilidade para os produtores. O trabalho foi dividido em duas partes. A primeira parte consiste em uma revisão que aborda os aspectos do Se, destacando seu efeito no metabolismo antioxidante, na preservação dos cloroplastos, seu papel em frutíferas e sua influência no metabolismo dos açúcares, culminando no aumento da produtividade a partir desses fatores. A segunda parte do estudo teve como objetivo avaliar a influência do Se em parâmetros de qualidade da uva Arra 15, cultivada no Vale do São Francisco. Onde o experimento foi conduzido na Fazenda Galdino, em Petrolina-PE, utilizando videiras enxertadas sobre o porta-enxerto SO4 e cultivadas em sistema de latada. Diferentes concentrações de Se foram aplicadas via foliar na forma de selenato de sódio durante a fase de florada plena, avaliando-se características como teor de sólidos solúveis (SST), acidez titulável (AT), relação SS/AT, massa, tamanho e pegamento dos cachos, além da produtividade. Os resultados indicaram que a dose de 20 g ha⁻¹ de Se aumentou significativamente o SST, o ratio SS/AT, melhorou a taxa de pegamento e elevou a produtividade em 12,06%, equivalente a aproximadamente 4 t ha⁻¹ a mais em relação ao controle. Conclui-se que a aplicação de Se pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade e a produtividade da uva Arra 15, tornando-a mais competitiva nos mercados nacional e internacional. Dessa forma, conclui-se que o Se desempenha um papel essencial na fisiologia das plantas, promovendo não apenas a eficiência fotossintética e o acúmulo de açúcares, mas também aumentando a produtividade e a qualidade dos frutos, o que reforça sua importância como uma estratégia valiosa no manejo de culturas frutíferas, garantindo produtos de alta qualidade.

Palavras-chave: *Vitis vinifera*; selenato de sódio; semiárido; antioxidantes; estresses.

ABSTRACT

Selenium (Se) plays a role in various areas of plant physiology, acting as an antioxidant and improving chloroplast function. Its application has been shown to increase photosynthetic efficiency, which, in turn, contributes to greater sugar accumulation in fruits. Additionally, selenium positively influences the quality of fruit crops, increasing plant resistance to abiotic stress and promoting higher productivity. In crops like grapes, selenium has proven effective in improving fruit quality, making them more nutritious with superior organoleptic characteristics, resulting in greater profitability for producers. The study was divided into two parts. The first part consists of a review addressing the aspects of Se, highlighting its effect on antioxidant metabolism, chloroplast preservation, its role in fruit crops, and its influence on sugar metabolism, culminating in increased productivity from these factors. The second part of the study aimed to evaluate the influence of Se on quality parameters of Arra 15 grapes grown in the São Francisco Valley. The experiment was conducted at Fazenda Galdino in Petrolina-PE, using vines grafted onto SO4 rootstock and cultivated in a trellis system. Different concentrations of Se were applied foliarly in the form of sodium selenate during the full bloom phase, evaluating characteristics such as soluble solids content (SSC), titratable acidity (TA), SS/TA ratio, bunch mass, size, and set, as well as productivity. The results indicated that the application of 20 g ha⁻¹ of Se significantly increased SSC, the SS/TA ratio, improved bunch set, and boosted productivity by 12.06%, equivalent to approximately 4 t ha⁻¹ more than the control. It is concluded that the application of Se can be an effective strategy to improve the quality and productivity of Arra 15 grapes, making them more competitive in both national and international markets. Thus, it is concluded that Se plays an essential role in plant physiology, promoting not only photosynthetic efficiency and sugar accumulation but also increasing productivity and fruit quality, which reinforces its importance as a valuable strategy in the management of fruit crops, ensuring high-quality products.

Keywords: *Vitis vinifera*, sodium selenate, semiarid, antioxidants, stress

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-	Representação dos efeitos no cloroplasto com e sem a adição de Se, destacando as reações associadas a mitigação de estresse e fotossíntese.	13
Figura 2	-	Representação dos efeitos do Se na síntese e translocação de açúcares da folha para as bagas, aprimorando a qualidade do fruto.	16
Figura 3	-	Valores de temperatura máxima, temperatura mínima e radiação solar, registradas durante a condução do experimento (abril a julho de 2023), Petrolina – Pe, 2023.	29
Figura 4	-	Teste de comparações de medias: Pegamento (a), Peso de cacho (b), comprimento dos cachos (c), °Brix das bagas (d), acidez das bagas (e) e ratio das bagas (f), submetidas a diferentes doses de Se: 0 g ha ⁻¹ , 10 g ha ⁻¹ , 20 g ha ⁻¹ e 40 g ha ⁻¹ . Os dados referem-se as medias das 4 repetições de cada tratamento. Letras diferentes referem-se à diferença estatísticas a 5% pelo teste de Tukey. Petrolina – Pe, 2023	32
Figura 5	-	Teste de comparações de medias: Produtividade das uvas submetidas a diferentes doses de Se: 0 g ha ⁻¹ , 10 g ha ⁻¹ , 20 g ha ⁻¹ e 40 g ha ⁻¹ . Os dados referem-se as medias das 4 repetições de cada tratamento. Letras diferentes referem-se à diferença estatísticas a 5% pelo teste de Tukey. Petrolina – Pe, 2023.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Dados e impactos do Se na produtividade de diferentes culturas	15
-----------------	---	--	----

SUMÁRIO

1	O PAPEL DO SELÊNIO NA MITIGAÇÃO DE ESTRESSES PARA MELHORIA DA QUALIDADE DE FRUTAS.....	9
1.1	EFEITO DO SELÊNIO NO METABOLISMO ANTIOXIDANTE.....	10
1.2	EFEITO DO SELÊNIO NA PRESERVAÇÃO DE CLOROPLASTOS E FOTOSSÍNTESE.....	12
1.3	O SELÊNIO EM FRUTÍFERAS.....	13
1.4	EFEITO DO SELÊNIO NO METABOLISMO DE AÇÚCARES.....	15
1.5	SE E AUMENTO DE PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS.....	17
	REFERÊNCIAS.....	19
2	O PAPEL DO SELÊNIO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE EM UVAS DE MESA.....	26
2.1	INTRODUÇÃO.....	27
2.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
2.2.1	Condição de cultivo.....	28
2.2.2	Desenho experimental.....	29
2.2.3	Análises físico-químicas e agrônomicas.....	30
2.2.4	Análise estatística.....	30
2.3	RESULTADOS.....	30
2.4	DISCUSSÕES.....	33
2.5	CONCLUSÕES.....	35
	REFERÊNCIAS.....	36

1 O PAPEL DO SELÊNIO NA MITIGAÇÃO DE ESTRESSES PARA MELHORIA DA QUALIDADE DE FRUTAS

RESUMO

O selênio (Se) é um elemento benéfico encontrado no solo em concentrações variáveis, de 0,01 a 2 mg kg⁻¹, sendo mais abundante em solos derivados de rochas sedimentares e menos presente em solos de origem ígnea. Solos no Brasil e em outras regiões do mundo apresentam baixos níveis de Se, necessitando de suplementação via fertilizantes. A disponibilidade do Se no solo depende da sua forma química, sendo o selenato mais facilmente absorvido pelas plantas do que o selenito. No metabolismo antioxidante das plantas, o Se desempenha um papel crucial, ativando enzimas antioxidantes como a glutathione peroxidase, que neutralizam radicais livres e ajudam a manter o equilíbrio redox celular, além de aumentar a tolerância das plantas ao estresse oxidativo. Além disso, o Se protege os cloroplastos e otimiza a eficiência dos fotossistemas, melhorando a fotossíntese e a respiração. Ele também protege contra o estresse oxidativo, principalmente em condições de estresse abiótico. O Se interfere no metabolismo do ácido lipóico, que é um antioxidante importante, auxiliando na regeneração de outras moléculas antioxidantes e contribuindo para a manutenção da homeostase celular. Além disso, o Se tem mostrado potencial no aumento da produtividade agrícola, melhorando a qualidade das colheitas e aumentando a resistência das plantas a doenças e pragas. Em resumo, o Se desempenha papéis diversificados nas plantas, desde o apoio ao sistema antioxidante até a melhoria da eficiência fotossintética e a promoção do crescimento, sendo essencial para a manutenção da saúde das plantas e o aumento da produtividade.

Palavras-chave: antioxidante; pós-colheita; vegetal; clorofila; açúcares.

ABSTRATC

Selenium (Se) is found in soil at variable concentrations, ranging from 0.01 to 2 mg kg⁻¹, being more abundant in soils derived from sedimentary rocks and less present in soils of igneous origin. Soils in Brazil and other regions of the world have low levels of Se, requiring supplementation via fertilizers. The availability of Se in the soil depends on its chemical form,

with selenate being more easily absorbed by plants than selenite. In the antioxidant metabolism of plants, Se plays a crucial role by activating antioxidant enzymes such as glutathione peroxidase, which neutralizes free radicals and helps maintain cellular redox balance, as well as increasing plant tolerance to oxidative stress. Additionally, Se protects chloroplasts and optimizes the efficiency of photosystems, improving photosynthesis and respiration. It also protects against oxidative stress, especially under conditions of abiotic stress. Se interferes with the metabolism of lipoic acid, which is an important antioxidant, helping in the regeneration of other antioxidant molecules and contributing to the maintenance of cellular homeostasis. Furthermore, Se has shown potential in increasing agricultural productivity, improving crop quality, and enhancing plant resistance to diseases and pests. In summary, Se plays diverse roles in plants, from supporting the antioxidant system to improving photosynthetic efficiency and promoting growth, being essential for maintaining plant health and increasing agricultural productivity.

Keywords: antioxidant; post-harvest; vegetable; chlorophyll; sugars.

1.1 EFEITO DO SELÊNIO NO METABOLISMO ANTIOXIDANTE

O Se é um elemento que pode ser absorvido pelas plantas, porém sua essencialidade para completar o ciclo vital ainda não foi comprovada (White, 2016, 2018). Diversos estudos tem demonstrado que o Se é um componente crucial no metabolismo antioxidante das plantas, desempenhando um papel fundamental na proteção contra o estresse oxidativo e na regulação da expressão gênica relacionada à defesa antioxidante (Reis *et al.*, 2017; Lanza; Reis, 2021; Yang *et al.*, 2024). O fornecimento de Se promove na célula vegetal os mesmos efeitos antioxidantes que na célula animal, proporcionando o aumento da atividade de algumas enzimas relacionadas com a ação antioxidantes (Noctor *et al.*, 2012; Araujo *et al.*, 2023), resistência ao estresse, tolerância ao estresse abiótico e alívio de tensões de metais pesados (Ulhassan *et al.*, 2019; Duan *et al.*, 2019; Hossain *et al.*, 2021).

O Se exerce papel primordial quando presente na planta na ativação de enzimas antioxidantes, como a glutathione peroxidase (GPx) e glutathione reductase (GS) (Feng *et al.*, 2013; Lanza; Reis, 2021; Ramakrishnan *et al.*, 2022). Essas enzimas desempenham papéis essenciais na neutralização de radicais livres e na manutenção do equilíbrio redox dentro das células vegetais, reduzindo a peroxidação lipídica e mitigando danos oxidativos (Gudkov *et al.*, 2020; Hossain *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2024). A ativação dessas enzimas pelo Se ressalta sua importância como um cofator chave no metabolismo antioxidante, fornecendo proteção adicional contra danos oxidativos e promovendo a saúde das plantas em face de estresses ambientais (Feng *et al.*, 2013; Lanza; Reis, 2021).

Estudos, como os de Hasanuzzaman *et al.* (2020) e Yao *et al.* (2021) destacaram que o Se pode induzir a expressão de genes envolvidos na síntese de compostos antioxidantes, contribuindo para a proteção das plantas contra o estresse oxidativo e a morte celular programada, modulando assim a expressão gênica relacionada à defesa antioxidante.

A interação sinérgica entre o Se e outros antioxidantes, como a vitamina E e a vitamina C, desempenha um papel na proteção das células vegetais contra danos oxidativos (Xue *et al.*, 2012). Conforme destacado por Djanaguiraman *et al.* (2005), essa sinergia amplifica os efeitos antioxidantes, resultando em uma defesa mais eficaz contra o estresse oxidativo. Foi demonstrado também por Ramakrishnan *et al.* (2022), que a combinação de Se com antioxidantes resultou em uma redução na peroxidação lipídica e na produção de EROS (Espécies reativas de oxigênio). Além disso, evidências adicionais mostram que essa interação não só aumenta a atividade das enzimas antioxidantes, mas também melhora a estabilidade e a capacidade antioxidante desses compostos (Yao *et al.*, 2021; Hasanuzzaman *et al.*, 2020).

A combinação do Se com outras moléculas sinalizadoras, conforme discutido por Gupta e Gupta (2017), é fundamental na regulação da defesa antioxidante durante o estresse oxidativo nas plantas, amplificando as vias de sinalização de antioxidantes não enzimáticos, como o ácido abscísico (ABA) e o ácido salicílico (SA). Mostofa *et al.* (2020), destaca que o Se colabora na regulação da produção e eliminação dos EROS, em cooperação com outras moléculas antioxidantes, como o SA. Esses mecanismos são fundamentais para a saúde e o desenvolvimento das plantas, destacando a importância do Se na produção agrícola.

1.2 EFEITO DO SELÊNIO NA PRESERVAÇÃO DE CLOROPLASTOS E FOTOSSÍNTESE

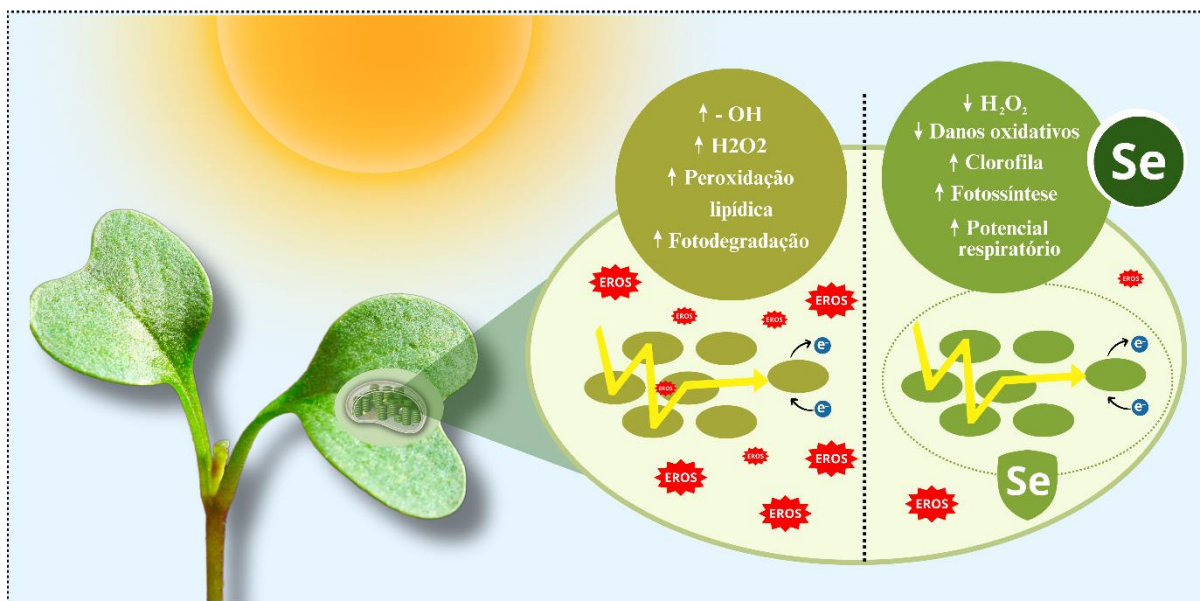
O cloroplasto, com suas clorofilas, tem papel vital para a captura de luz solar pelo processo da fotossíntese. Mudanças ambientais ou nutricionais que prejudiquem a clorofila podem comprometer a eficiência desse processo vital. O Se demonstrou capacidade de atenuar os impactos adversos e otimizar os processos ligados à melhoria da eficiência fotossintética em diversas espécies vegetais (Reis *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020; Lanza; Reis, 2021; Cheng *et al.*, 2023; Araujo *et al.*, 2023). Germ *et al.* (2007) observaram que o tratamento de pulverização foliar com Se resultou em um aumento do potencial respiratório e da eficiência de conversão de energia do fotossistema II (PSII) em folhas de batata (*Solanum tuberosum* L.).

Estudos mostram que o Se pode aumentar a fotossíntese e a respiração em plantas expostas ao estresse de radiação UV (Filek *et al.*, 2010; Feng *et al.*, 2015; Reis *et al.*, 2018; Lanza; Reis, 2021; Hossain *et al.*, 2021), bem como mitigar a redução nas atividades de ambos os fotossistemas induzidos pelo cádmio (Germ *et al.*, 2007). A aplicação de Se tem sido associada a um aumento na eficiência fotoquímica do PSII, refletida pelo aumento dos parâmetros de fluorescência, como Fv, Fm, Fv/Fm e Fv/F0, e pela diminuição de F0 (Zhang *et al.*, 2014). Além disso, plantas de trigo-sarraceno tratadas com Se mostraram uma maior atividade do sistema de transporte de elétrons e uma eficiência fotoquímica potencial de PSII aumentada em comparação com os controles (Tao *et al.*, 2023).

No que diz respeito aos efeitos do Se no estresse oxidativo, ele protege as plantas contra danos oxidativos ao aumentar os níveis e a atividade da glutatona peroxidase (GSH-Px) (Saed-Moucheshi; Rezaei Mirghaed, 2023). Essa enzima é responsável por eliminar EROS e LPOs (Peróxidos lipídicos), contribuindo assim para a redução do estresse oxidativo (Feng *et al.*, 2013). Isso confere às plantas uma maior capacidade antioxidante, fortalecendo sua resistência a estresses bióticos e abióticos, protegendo os fotossistemas das plantas (Rostami; Abbaspour, 2019; Gao *et al.*, 2024), além do envelhecimento (Figura 1).

A síntese de clorofila é modulada pela presença de Se através do controle da biossíntese de porfirinas, que possuem um grande papel na síntese de pigmentos fotossintéticos (Yang *et al.* 2022; Zhao *et al.* 2022). Essa ação é comprovada por Pedro *et al.* (2008), que relataram um aumento no teor de clorofila em *Brassica oleracea* L. quando tratado com Se, mesmo em condições de estresse induzido por cádmio. Silva *et al.* (2020), também observaram que concentrações adequadas de Se aumentaram o teor de clorofila em *Vigna unguiculata* L.

Figura 1 - Representação dos efeitos no cloroplasto com e sem a adição de Se, destacando as reações associadas a mitigação de estresse e fotossíntese.



Fonte: Próprio autor.

Culturas, como trigo, sorgo, cevada e batata, que passaram por condições estressantes, como alta temperatura, estresse hídrico e estresse salino, quando nutridas com Se apresentaram um aumento nos teores de clorofila, melhorando assim a eficiência fotossintética mesmo em situações desafiadoras para seu crescimento (Diao *et al.*, 2014; Hajiboland *et al.*, 2015; Padalkar *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2023). A melhora da atividade fotossintética pela presença do Se na planta está associada à redução dos níveis de EROS, à revitalização dos sistemas antioxidantes, à reparação da estrutura dos cloroplastos danificados e ao aumento da síntese de metabólitos essenciais para o funcionamento celular (Feng *et al.*, 2013).

1.3 O SELÊNIO EM FRUTÍFERAS

A busca por frutos de alta qualidade, que sejam visualmente atraentes para os compradores e promovam a saúde dos consumidores, é uma das principais características priorizadas na comercialização de frutas. A aplicação de selênio (Se) nas culturas agrícolas desempenha um papel crucial nesse processo promovendo efeitos benéficos no desenvolvimento e proteção das plantas, resultando não apenas em uma melhor produtividade, mas também aprimorando a qualidade nutricional dos frutos, oferecendo benefícios significativos à saúde humana. Esse impacto positivo do Se tem sido cada vez mais observado

em frutas como morango (Gao *et al.*, 2022), pêra (Deng *et al.*, 2019), mirtilo (Li *et al.*, 2018) e uva (Zhu *et al.*, 2020).

A capacidade de melhorar o desenvolvimento do fruto através da adição de Se, é observada na influência que o elemento tem de aumentar a resistência aos estresses ambientais (JING *et al.*, 2017), como também aumentar o conteúdo de pigmentos e compostos antioxidantes (Pezzarossa *et al.*, 2014; Zhu *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2018), que além de afetar positivamente parâmetros de qualidade das frutas, como conteúdo de sólidos solúveis, acidez titulável, glicose, frutose, açúcares totais e firmeza (Lee *et al.*, 2007; Zhu *et al.*, 2016, 2017), impactam diretamente a produção. Esses benefícios ressaltam a importância do Se não apenas na saúde das plantas, mas também na qualidade e valor nutricional das frutas, indicando uma potencial rota para a biofortificação de alimentos.

Estudos recentes (Wu *et al.*, 2016) ressaltam os benefícios do selênio na resistência a doenças e na qualidade dos tomates. A aplicação desse elemento não só aumentou a produção de frutas, como também melhorou a resistência a patógenos. Pesquisas anteriores (Wu *et al.*, 2014) mostraram que o selênio atua como antifúngico, inibindo o crescimento de fungos como o *Botrytis cinérea* e o *Penicillium expansum*, o que contribui para a durabilidade pós-colheita dos tomates. Além disso, Hanson *et al.* (2003) e Companioni *et al.* (2012) destacam que o Se não só protege contra infecções, reduzindo as perdas devido a doenças, mas também fortalece a resistência natural das frutas, prolongando sua qualidade durante o armazenamento.

A vida útil pós-colheita das frutas também são prolongadas com a aplicação de Se, devido a diminuição mais lenta da firmeza da polpa e a redução do peso durante o armazenamento (Pezzarossa *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2017; Ryant *et al.*, 2020). O estudo de Zhu *et al.* (2017) demonstrou que o Se reduz o processo de senescência de tomates, tornando-os mais atraentes para os consumidores por mais tempo e contribuindo para redução do desperdício. Esse prolongamento da vida útil é atribuído ao estímulo na síntese de compostos antioxidantes, como ácido ascórbico, polifenóis e outros compostos bioativos, que além de contribuir para seu valor nutrifarmacêutico, também ajudam na proteção do fruto contra o envelhecimento precoce, devido a ação contra a oxidação (D'amato *et al.*, 2014; Ryant *et al.*, 2020; Rady *et al.*, 2020).

Contudo, todos esses benefícios que o Se pode agregar na produção de frutas, também dependem de fatores intrínsecos da própria variedade. Essa disparidade de absorção de Se foi evidenciada em estudos de Groth *et al.* (2020, 2021) que destacam variações na absorção e acumulação de Se entre as variedades de maçãs, ressaltando a importância de selecionar cuidadosamente as variedades. Portanto, ao considerar as características específicas de cada

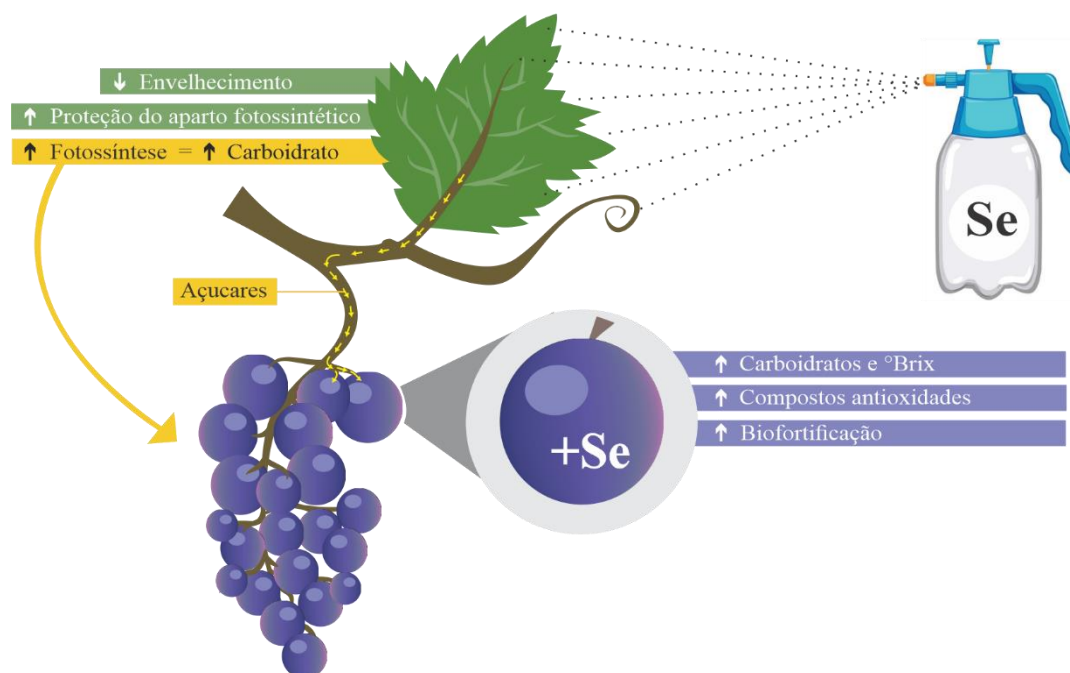
cultura durante o planejamento da aplicação de Se, é possível maximizar os benefícios e otimizar a produção de frutas de alta qualidade, mesmo em condições desafiadoras.

1.4 EFEITO DO SELÊNIO NO METABOLISMO DE AÇÚCARES

As moléculas de açúcar desempenham vários papéis importantes no crescimento e desenvolvimento de todas as estruturas das plantas, além de funcionar como substratos para a respiração, entre outros (Handa *et al.*, 2016; Hernández-Hernández *et al.*, 2019). O Se se caracteriza como um elemento que impacta na modulação do metabolismo de açúcares em plantas, exercendo papéis na síntese, acúmulo e regulação de diversos açúcares nos tecidos vegetais (Owusu-Sekyere *et al.*, 2013; Hernández-Hernández *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020; Araujo *et al.*, 2023). O amido, caracteriza-se com o açúcar de reserva mais importante para as plantas, tem sua degradação estimulada com a presença de Se, através de regulação positiva das enzimas beta-amilases, o que resulta em aumentos nos níveis de açúcares totais nos tecidos vegetais, facilitando sua distribuição em forma de sacarose dentro da planta (Ke *et al.*, 2022).

Estudos, como os de Xue *et al.* (2012), Ke *et al.* (2022) e Padalkar *et al.* (2023), demonstraram que a aplicação de Se em diferentes culturas pode provocar modulações no metabolismo de carboidratos, promovendo alterações nos níveis de açúcares solúveis totais, glicose, frutose, sacarose e compostos relacionados, influenciando diretamente o crescimento, desenvolvimento e resposta ao estresse das plantas. Além disso, o Se demonstrou capacidade de aliviar os danos causados por vários estresses ambientais, incluindo a proteção contra danos oxidativos e o fortalecimento do aparato fotossintético (Handa *et al.*, 2016, 2019; Rostami; Abbaspour, 2019; Araujo *et al.*, 2023) (Figura 2).

Figura 2 - Representação dos efeitos do Se na síntese e translocação de açúcares da folha para as bagas, aprimorando a qualidade do fruto.



Fonte: Próprio autor.

O Se influencia a expressão de genes relacionados à sacarose sintase na via do metabolismo do amido e da sacarose (Ke *et al.*, 2022). Além disso, genes associados à trealose 6-fosfato sintase são positivamente regulados em nódulos de soja na presença do Se, promovendo o acúmulo de Tre6P (Yadav *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2022; Padalkar *et al.*, 2023). Esse impacto influencia na homeostase da sacarose e impacta o desenvolvimento de estruturas como os nódulos em plantas leguminosas (Ke *et al.*, 2022; Cunha *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024).

Além disso, estudos evidenciam que a aplicação de Se pode modular o acúmulo de açúcares solúveis totais durante a fase de perfilhamento do arroz, possivelmente devido à ativação de amilases (Malik *et al.*, 2011). A presença de Se também tem sido associada ao aumento do teor total de carboidratos e amido em diversas plantas, como *Brassica napus* L. e *Medicago sativa* L. (Owusu-Sekyere *et al.*, 2013, Silva *et al.*, 2020; Cunha *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024). Esse aumento não só reflete na qualidade nutricional dos frutos, incluindo o teor de açúcar solúvel (Zhu *et al.*, 2017), mas também na elevação nos níveis totais de açúcar nos nódulos, raízes e folhas de plantas tratadas com Se (Padalkar *et al.*, 2023).

1.5 SE E AUMENTO DE PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

Ao influenciar de forma direta em diversos processos fisiológicos e bioquímicos na planta, a utilização de Se culmina no aumento da produtividade (Lanza; reis, 2021). Sua participação na ativação de enzimas antioxidantes protege as plantas contra danos oxidativos, enquanto sua regulação da fotossíntese e do metabolismo de nutrientes essenciais favorece a eficiência da fixação de carbono e a assimilação de nitrogênio, fósforo e potássio (Farman *et al.*, 2021; Cunha *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024). Gao *et al.* (2024) demonstra que a aplicação de Se orgânico melhorou a capacidade fotossintética, eficiência da fixação de carbono e a síntese de proteínas, levando a um aumento direto no rendimento das sementes de arroz.

O Se estimula o crescimento e desenvolvimento vegetal, influenciando a expressão de genes relacionados ao alongamento celular, divisão celular e síntese de hormônios vegetais (Márquez *et al.*, 2020; Khai *et al.*, 2022). Sua capacidade em fortalecer o sistema imunológico das plantas e melhorar sua resistência a condições adversas, como estresse biótico e abiótico, contribui para uma maior estabilidade e produtividade das culturas sob condições desfavoráveis (Song *et al.*, 2023) (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados e impactos do Se na produtividade de diferentes culturas

Espécies	Concentração	Forma de Se	Produtividade	Referências
<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	5 g/ha	Selenito de sódio	A massa seca dos grãos e o teor de Se aumentaram linearmente com o aumento da concentração de Se aplicado	(TAO <i>et al.</i> , 2023)
<i>Chenopodium quinoa</i>	50 mg/L	Selênio	Aumentou 36% no comprimento da parte aérea, 44% no número de ramos frutíferos por planta, 79% no peso da planta, 118% no peso das sementes por planta	(SADAK E BAKHOUM 2022)
<i>Solanum lycopersicum</i>	3 mg/L	nSe e selenato de sódio	Aumento na biomassa fresca da parte aérea e radicular. Aumento número de frutos.	(NEYSANIAN <i>et al.</i> , 2021)
<i>Mangifera indica</i> L.	20 mg/L	Selênio	Aumentou o comprimento do broto, o diâmetro, o número, o conteúdo de clorofila nas folhas e a área foliar; aumentaram a porcentagem de frutificação; e reduziram a porcentagem de queda de frutos.	(ALMUTAIRI <i>et al.</i> , 2023)
<i>Oryza sativa</i>	5 mg/L	SeMet	Aumentou o rendimento do arroz e a biomassa total da planta	(GAO <i>et al.</i> , 2024)
<i>Arachis hypogaea</i> L.	45 µg/ Kg	Selenato de sódio	Apresentaram maior crescimento, acúmulo de biomassa na parte aérea e raízes, produtividade	(CUNHA <i>et al.</i> , 2022)
<i>Coffea arabica</i> L.	60 mg/L	nano-Se 5000	Aumentou a produtividade do café em 1.548,45 kg ha ⁻¹ em comparação com plantas não tratada	(MATEUS <i>et al.</i> , 2021)
<i>Triticum aestivum</i>	21 g/ha	Selenato de sódio	Aumentou 48% na produtividade do trigo e de 30% na produção de biomassa	(LARA <i>et al.</i> , 2019)

Fragaria ×ananas Duch.	1 mg/L	Selenato de sódio	O uso combinado de Se e H ₂ S resultou na maior comprimento, diâmetro e produtividade dos frutos.	(POUREBRAHIMI <i>et al.</i> , 2023)
<i>Vigna radiata</i>	50 mg/L	nSe	Aumentou o número de vagens, o número de sementes, o peso dos grãos, a produtividade e o armazenamento de Fe, Zn e Se nos grãos.	(KAMALI- ANDANI <i>et al.</i> , 2023)

Fonte: Próprio autor.

Estudos recentes como o de Mateus *et al.* (2021) demonstraram que nutrição do café com Se resultou em aumento expressivo na produção de grãos de alta qualidade, devido à melhora na remoção de espécies reativas de oxigênio. Cunha *et al.* (2022) também observaram um incremento no número de vagens, sementes e rendimento de grãos do feijão mungo após a aplicação de Se. Esses estudos, assim como os apresentados na Tabela 1, mostram o potencial do Se como um biofortificante capaz de impulsionar a produtividade e a qualidade das culturas agrícolas.

1.6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

O Se desempenha um papel benéfico no metabolismo das plantas, contribuindo para a preservação dos cloroplastos, a melhoria da fotossíntese e a modulação do metabolismo antioxidante. Esses efeitos destacam seu potencial para promover o crescimento saudável das plantas e aumentar sua resistência a estresses ambientais. O crescente interesse no uso do Se em frutíferas visa não só melhorar a qualidade nutricional dos frutos, mas também fortalecer a adaptação das plantas a estresses severos. Contudo, para avançar nesse contexto, são necessárias mais pesquisas para compreender melhor os mecanismos subjacentes aos efeitos do Se, o que permitirá o desenvolvimento de estratégias agrícolas mais eficazes.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, M. A. de *et al.* Selenium enhances ROS scavenging systems and sugar metabolism increasing growth of sugarcane plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 201, p. 107798, 2023. DOI: 10.1016/j.plaphy.2023.107798.
- ALSAMADANY, H. *et al.* Selenium fortification stimulates antioxidant- and enzyme gene expression-related defense mechanisms in response to saline stress in Cucurbita pepo. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 312, p. 111886, 2023. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.111886.
- ALMUTAIRI, K.F. *et al.* Influence of Selenium, Titanium, and Silicon Nanoparticles on the Growth, Yield, and Fruit Quality of Mango under Drought Conditions. **Horticulturae**, Basel, v. 9, p. 1231, 2023. DOI: 10.3390/horticulturae9111231.
- CHENG, B. *et al.* Selenium nanomaterials improve the quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) By modulating root growth, nutrient availability, and photosynthesis. **Nanoimpact**, Amsterdam, v. 29, p. 100449, 2023. DOI: 10.1016/j.impact.2022.100449.
- CHEN, J. *et al.* Selenium treatment promotes anthocyanin accumulation in radish sprouts (*Raphanus sativus* L.) By its regulation of photosynthesis and sucrose transport. **Food Research International**, Oxford, v. 165, p. 112551, 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112551.
- COMPANIONI, B. *et al.* Protective action of sodium selenite against Fusarium wilt in tomato: total protein contents, levels of phenolic compounds and changes in antioxidant potential. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 947, p. 321-328, 2012. DOI: 10.17660/actahortic.2012.947.41.
- CUNHA, M. L. *et al.* Selenium increases photosynthetic capacity, daidzein biosynthesis, nodulation and yield of peanuts plants (*Arachis hypogaea* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 190, p. 231–239, 2022. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.08.006.
- CUNHA, M.L.O. *et al.* Selenium increases photosynthetic capacity, daidzein biosynthesis, nodulation and yield of peanuts plants (*Arachis hypogaea* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex v. 190, p. 231–239, 2022. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.08.006.
- DIAO, M. *et al.* Selenium Promotes the Growth and Photosynthesis of Tomato Seedlings Under Salt Stress by Enhancing Chloroplast Antioxidant Defense System. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 33, n. 3, p. 671-682, 2014. DOI: 10.1007/s00344-014-9416-2.
- DUAN, M. *et al.* Effect of foliar sodium selenate on leaf senescence of fragrant rice in South China. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, p. 3343-3351, 2019. DOI: 10.15666/aeer/1702_33433351.

DJANAGUIRAMAN, M. *et al.* Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 272, n. 1, p. 77-86, 2005. DOI: 10.1007/s11104-004-4039-1.

DENG, X.-F.; ZHAO, Z.-Q.; HAN, Z.-Y.; HUANG, L.-Q.; LV, C.-H.; ZHANG, Z.-H.; ZHANG, H.-Q.; LIU, X.-W. Selenium uptake and fruit quality of pear (*Pyrus communis* L.) treated with foliar Se application. **Plant Nutrition and Soil Science**, 2019. DOI: 10.1002/jpln.201800295.

D'AMATO, R. *et al.* Increase in the selenium content of extra virgin olive oil: quantitative and qualitative implications. **Grasas y Aceites**, v. 65, p. 1-9, 2014. DOI: 10.3989/gya.097313.

DUAN, M. *et al.* Effect of foliar sodium selenate on leaf senescence of fragrant rice in South China. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, p. 3343-3351, 2019. DOI: 10.15666/aeer/1702_33433351.

FENG, R. *et al.* The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 87, p. 58-68, 2013. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.09.002.

FARMAN, M. *et al.* Interplay between selenium and mineral elements to improve plant growth and development. In: M. Hasanuzzaman; M.N.V. Prasad (Eds.). **Handbook of Bioremediation**, p. 221-236, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-819382-2.00013-2.

FENG, T. *et al.* Selenium improves photosynthesis and protects photosystem II in pear (*Pyrus bretschneideri*), grape (*Vitis vinifera*), and peach (*Prunus persica*). **Journal of Plant Growth Regulation**, New York. DOI: 10.1007/s11099-015-0118-1.

FILEK, M., KOŚCIELNIAK, J., ŁABANOWSKA, M., BEDNARSKA, E., & BIDZIŃSKA, E. Selenium-induced protection of photosynthesis activity in rape (*Brassica napus*) seedlings subjected to cadmium stress. Fluorescence and EPR measurements. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 105, n. 1, p. 27–37, 2010. DOI: 10.1007/s11120-010-9551-y.

GAO, S. *et al.* The application of organic selenium (semet) improves the photosynthetic characteristics, yield, and quality of hybrid rice. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 208, p. 108457, 2024. DOI: 10.1016/j.plaphy.2024.108457.

GAO, S. *et al.* Selenomethionine regulates the sugar-acid ratio of strawberry fruit by modulating the activities of related enzymes. **Journal of Berry Research. Advance**, Amsterdam, online publication. 2022. DOI: 10.1080/14620316.2021.1983475.

GERM, M., KREFT, I., STIBILJ, V., & URBANC-BERCIC, O. Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 45, n. 2, p. 162–167, 2007. DOI: 10.1016/j.plaphy.2007.01.009.

GROTH, S. *et al.* Selenium biofortification of different varieties of apples (*Malus domestica*) - Influence on protein content and the allergenic proteins Mal d 1 and Mal d 3. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 362, p. 130134, 2021. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130134.

GROTH, S. *et al.* Influence of a selenium biofortification on antioxidant properties and phenolic compounds of apples (*Malus domestica*). **Antioxidants**, Basel, v. 9, n. 2, 2020. DOI: 10.3390/antiox9020187.

GUDKOV, S. V. *et al.* Production and use of selenium nanoparticles as fertilizers. **ACS Omega**. DOI: 10.1021/acsomega.0c024.

HASANUZZAMAN, M. *et al.* Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. **Antioxidants**, Basel, v. 9, n. 8, p. 681, 2020. DOI: 10.3390/antiox9080681.

HAJIBOLAND, R.; SADEGHZADEH, N.; SADEGHZADEH, B. Effect of Se application on photosynthesis, osmolytes and water relations in two durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes under drought stress. **Acta Agriculturae Slovenica**, Ljubljana, v. 103, n. 2, p. 167–179, 2015. DOI: 10.14720/aas.2014.103.2.2.

HANSON, B. *et al.* Selenium accumulation protects Brassica juncea from invertebrate herbivory and fungal infection. **The New Phytologist**, Chichester, v. 159, n. 2, p. 461–469, 2003. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00786.x.

HAJIBOLAND, R.; RAHMAT, S.; ALIASGHARZAD, N.; HARTIKAINEN, H. Selenium-induced enhancement in carbohydrate metabolism in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) as related to the glutathione redox state. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 392, n. 1-2, p. 281-293, 2015. DOI: 10.1080/00380768.2015.1032181.

HANDA, N. *et al.* Selenium: An Antioxidative Protectant in Plants Under Stress. In: AHMAD, P. (ed.). **Plant Metal Interaction**. London: Elsevier, 2016. p. 179-207. DOI: 10.1016/B978-0-12-803158-2.00007-2.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, H. *et al.* Impacto das nanopartículas de selênio e cobre no rendimento, sistema antioxidante e qualidade dos frutos de tomateiro. **Plantas**, v. 8, p. 355, 2019. DOI: 10.3390/plants8100355.

HOSSAIN, A. *et al.* Silicon and selenium transporters in plants under abiotic stresses. In: METAL and Nutrient Transporters in Abiotic Stress. [S. l.]: Academic Press, 2021. p. 87-116, DOI: 10.1016/B978-0-12-817955-0.00005-3.

JING, D.-W. *et al.* Selenium enrichment, fruit quality and yield of winter jujube as affected by addition of sodium selenite. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 225, p. 1-5, 2017. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.06.036.

KAMALI-ANDANI, N. *et al.* Selenium nanoparticles reduce Ce accumulation in grains and ameliorate yield attributes in mung bean (*Vigna radiata*) exposed to CeO₂. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 316, p. 120638, 2023. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120638.

KHAI, H.D. *et al.* Selenium nanoparticles as in vitro rooting agent, regulates stomata closure and antioxidant activity of gerbera to tolerate acclimatization stress. **Plant Cell Tiss Organ Cult**, Oxford, v. 150, p. 113–128, 2022. DOI: 10.1007/s11240-022-02250-3.

KE, X. *et al.* Phosphoenolpyruvate reallocation links nitrogen fixation rates to root nodule energy state. **Science**, Washington, v. 378, n. 6623, p. 971–977, 2022. DOI: 10.1126/science.abq8591.

LARA, T.S. *et al.* Selenium biofortification of wheat grain via foliar application and its effect on plant metabolism. **Journal of Food Composition and Analysis**, Maryland Heights, v. 81, p. 10–18, 2019. DOI: 10.1016/j.jfca.2019.05.002.

LANZA, M.G.D.B.; REIS, A.R. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 164, p. 27–43, 2021. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.04.026.

LI, M. *et al.* Effects of a foliar spray of selenite or selenate at different growth stages on selenium distribution and quality of blueberries. **Science of Food and Agriculture**, Ames, v. 98, n. 12, p. 4700–4706, 2018. DOI: 10.1002/jsfa.9004.

LI, Z. *et al.* The osnac23-Tre6P-snrk1a feed-forward loop regulates sugar homeostasis and grain yield in rice. **Molecular Plant**, Cambridge, v. 15, p. 706–722, 2022. DOI: 10.1016/j.molp.2022.01.016.

MALIK, J.A. *et al.* Promotion of growth in mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. **Biological Trace Element Research**, Heidelberg, v. 143, p. 530–539, 2011. DOI: 10.1007/s12011-010-8872-1.

MATEUS, M.P.B. *et al.* Selenium biofortification enhances ROS scavenge system increasing yield of coffee plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Philadelphia, v. 209, p. 111772, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111772.

MÁRQUEZ, G.V. *et al.* Ionic Selenium and Nanoselenium as Biofortifiers and Stimulators of Plant Metabolism. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 9, p. 1399, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10091399.

MOSTOFA, M. G. *et al.* Salicylic acid antagonizes selenium phytotoxicity in rice: selenium homeostasis, oxidative stress metabolism and methylglyoxal detoxification. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 394, p. 122572, 2020. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122572.

NEYSANIAN, M. *et al.* Comparative efficacy of selenate and selenium nanoparticles for improving growth, productivity, fruit quality, and postharvest longevity through modifying nutrition, metabolism, and gene expression in tomato; potential benefits and risk assessment. **Plos ONE**, San Francisco, v. 15, n. 12, p. E0244207, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0244207.

NOCTOR, G. *et al.* Glutathione in plants: an integrated overview. **Plant, Cell & Environment**, Chichester, v. 35, n. 2, p. 454–484, 2012. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2011.02400.x.

OWUSU-SEKYERE, A. *et al.* Influence of selenium (Se) on carbohydrate metabolism, nodulation and growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Plant Soil**, Dordrecht, v. 373, p. 541–552, 2013. DOI: 10.1007/s11104-013-1815-9.

PADALKAR, G. *et al.* Necessity and challenges for exploration of nutritional potential of staple-food grade soybean. **Journal of Food Composition and Analysis**, Maryland Heights, v. 117, p. 105093, 2023. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.105093.

PEZZAROSSA, B.; ROSELLINI, I.; BORGHESI, E.; TONUTTI, P.; MALORGIO, F. Effects of Se-enrichment on yield, fruit composition and ripening of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants grown in hydroponics. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 165, p. 106-110, 2014. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.10.029.

PEZZAROSSA, B. *et al.* Effects of foliar and fruit addition of sodium selenate on selenium accumulation and fruit quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Ames, v. 92, n. 4, p. 781-786, 2012. DOI: 10.1002/jsfa.4644.

POUREBRAHIMI, M. *et al.* Effect of combined application of selenium and hydrogen sulfide under salinity stress on yield, physiological traits and biofortification of strawberries in hydroponic cultivation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 315, p. 111982, 2023. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.111982.

RAMAKRISHNAN, M. *et al.* Selenium: a potent regulator of ferroptosis and biomass production. **Chemosphere**, Oxford, v. 306, p. 135531, 2022. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135531.

RADY, M. M. *et al.* Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 266, p. 109290, 2020. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109290.

REIS, A. R. D. *et al.* Overview of selenium deficiency and toxicity worldwide: affected areas, selenium-related health issues, and case studies. In: PILON-SMITS, E. A. H.; WINKEL, L. H. E.; LIN, Z. Q. (eds.). **Selenium in plants: molecular, physiological, ecological and evolutionary aspects**, Dordrecht: Springer, 2017. p. 209–230. DOI: 10.1007/978-3-319-56249-0_13.

REIS, H. P. G. *et al.* Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of Cereal Science**, London, v. 79, n. 1, p. 508-515, 2018. DOI: 10.1016/j.jcs.2018.01.004.

ROSTAMI, M.; ABBASPOUR, H. Effect of selenium on growth and physiological traits of basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under arsenic stress conditions. **Revista de Agricultura Neotropical**, Dourados, v. 6, n. 3, p. 30–37, 2019. DOI: 10.32404/rean.v6i3.3324.

RYANT, P. *et al.* Chapter 18 - The importance of selenium in fruit nutrition. In: SRIVASTAVA, A.K.; HU, C. (eds.). **Fruit crops**. Amsterdam: Elsevier, 2020. p. 241-254. DOI: 10.1016/B978-0-12-818732-6.00018-6.

SAED-MOUCHE-SHI, A. *et al.* A review on selenium function under oxidative stress in plants focusing on ROS production and detoxification. **Phyton-International Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 92, n. 7, p. 1921-1941, 2023. DOI: 10.32604/phyton.2023.027810.

SADAK, M. S.; BAKHOUM, G. S. Selenium-induced modulations in growth, productivity and physiochemical responses to water deficiency in Quinoa (*Chenopodium quinoa*) grown in sandy soil. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Amsterdam, v. 44, p. 102449, 2022. DOI: 10.1016/j.bcab.2022.102449.

SCHIAVON, M. *et al.* Exploring the importance of sulphate transporters and atpsulphurylases for selenium hyperaccumulation – comparison of *Stanleya pinnata* and *Brassica juncea* (Brassicaceae). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 2, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00002.

SONG, J. *et al.* Opportunities for the use of selenium nanoparticles in agriculture. **Nanoimpact**, Amsterdam, v. 31, p. 100478, 2023. DOI: 10.1016/j.impact.2023.100478.

SILVA, V. M. *et al.* The selenium-promoted daidzein production contributes to its induced nodulation in soybean plants. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 218, p. 105591, 2024. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2023.105591.

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**, Philadelphia, v. 201, p. 110777, 2020. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110777.

SONG, J. *et al.* Opportunities for the use of selenium nanoparticles in agriculture. **Nanoimpact**, Amsterdam, v. 31, p. 100478, 2023. DOI: 10.1016/j.impact.2023.100478.

TAO, J. *et al.* Effects of selenium (Se) uptake on plant growth and yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 302, p. 109070, 2023. DOI: 10.1016/j.fcr.2023.109070.

ULHASSAN, Z. *et al.* Protective mechanisms of melatonin against selenium toxicity in *Brassica napus*: insights into physiological traits, thiol biosynthesis and antioxidant machinery. **BMC Plant Biology**, London, v. 19, n. 1, p. 507, 2019. DOI: 10.1186/s12870-019-2110-6.

WHITE, P.J. Selenium accumulation by plants (Review). **Annals of Botany**, Oxford, v. 117, p. 213-235, 2016. DOI: 10.1093/aob/mcv180.

WHITE, P.J. Selenium metabolism in plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects**, Amsterdam, v. 1862, n. 11, p. 2333-2342, 2018. DOI: 10.1016/j.bbagen.2018.05.006.

WU, Z.-L. *et al.* Inhibitory effect of selenium against *Penicillium expansum* and its possible mechanisms of action. **Current Microbiology**, New York, v. 69, n. 2, p. 192–201, 2014. DOI: 10.1007/s00284-014-0573-0.

WU, Z. *et al.* Effect of selenium on control of postharvest gray mold of tomato fruit and the possible mechanisms involved. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 6, 2016. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01441w.

XUE, G. *et al.* Influences of spraying two different forms of silicon on plant growth and quality. **Chinese Agricultural Science Bulletin**, Beijing, v. 28, n. 16, p. 272-276, 2012. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.2011-3863.

YADAV, U.P. *et al.* The sucrose–trehalose 6-phosphate (Tre6P) nexus: specificity and mechanisms of sucrose signalling by Tre6P. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 1051–1068, 2014. DOI: 10.1093/jxb/ert457.

YANG, L. *et al.* Exogenous application of silicon and selenium improves the tolerance of tomato plants to calcium nitrate stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 207, p. 108416, 2024. DOI: 10.1016/j.plaphy.2024.108416.

YANG, H. *et al.* The beneficial and hazardous effects of selenium on the health of the soil-plant-human system: An overview. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 422, p. 126876, 2022. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126876.

YAO, Y. *et al.* Selenium–GPX4 axis protects follicular helper T cells from ferroptosis. **Nature Immunology**, New York, v. 22, n. 9, p. 1127–1139, 2021. DOI: 10.1038/s41590-021-00996-0.

ZHANG, L. *et al.* Ospt2, a phosphate transporter, is involved in the active uptake of selenite in rice. **New Phytologist**, Chichester, v. 201, n. 4, p. 1183–1193, 2014. DOI: 10.1111/nph.12596.

ZHAO, Y. *et al.* A Maize Necrotic Leaf Mutant Caused by Defect of Coproporphyrinogen III Oxidase in the Porphyrin Pathway. **Genes**, Burlington, v. 13, n. 2, p. 272, 2022. DOI: 10.3390/genes13020272.

ZHU, S. *et al.* 1-Methylcyclopropene on fruit quality of Se-enriched grape (*Vitis vinifera* L.) during shelf life period. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 9, p. 1411, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10091411.

ZHU, Z.; CHEN, Y.; SHI, G.; ZHANG, X. Selenium delays tomato fruit ripening by inhibiting ethylene biosynthesis and enhancing the antioxidant defense system. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 219, p. 179-184, 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.138.

2 O PAPEL DO SELÊNIO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE EM UVAS DE MESA

RESUMO

A produção de frutas de alta qualidade, especialmente uvas, é crucial para a competitividade no mercado agrícola, mas fatores de estresse abiótico, como altas temperaturas e déficit hídrico, podem prejudicar a qualidade dos frutos. O selênio (Se) é um elemento benéfico que impacta diretamente na síntese de carboidratos e na proteção antioxidante da planta melhorando o crescimento e desenvolvimento. A variedade de uva Arra 15, apreciada por suas bagas brancas, sem sementes e crocantes, é particularmente vulnerável a esses estresses, comprometendo sua qualidade e valor comercial. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do Se, um elemento que age no sistema antioxidante, na melhoria da qualidade da uva Arra 15 cultivada no Vale do São Francisco, uma região com condições climáticas desafiadoras. O experimento foi realizado na Fazenda Galdino, em Petrolina-PE, utilizando videiras enxertadas sobre o porta-enxerto SO4 e cultivadas em sistema de latada. Foram aplicadas diferentes concentrações de Se (0; 10; 20; 40 g ha⁻¹) via foliar na fonte de selenato de sódio, durante a fase de florada plena, e avaliadas características como teor de sólidos solúveis (SST), acidez titulável (AT), relação SS/AT, massa, tamanho e pegamento dos cachos, além da produtividade. Os resultados mostraram que a dose de 20 g ha⁻¹ de Se aumentou significativamente o SST e o ratio SS/AT, além de melhorar a taxa de pegamento e a produtividade em 12,06%, equivalente a cerca de 4 t ha⁻¹ a mais que o controle. Conclui-se que a aplicação de Se pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade e a produtividade da uva Arra 15, tornando-a mais competitiva nos mercados nacional e internacional.

Palavras-chaves: estresse; videira; *Vitis vinifera* L.; selenato, semiárido.

ABSTRACT

The production of high-quality fruits, especially grapes, is crucial for competitiveness in the agricultural market. However, abiotic stress factors, such as high temperatures and water deficit, can negatively affect fruit quality. Selenium (Se) is a beneficial element that directly impacts carbohydrate synthesis and antioxidant protection in plants, improving their growth and

development. The Arra 15 grape variety, valued for its white, seedless, and crispy berries, is particularly vulnerable to these stresses, compromising its quality and commercial value. The objective of this study was to evaluate the effect of Se, an element that acts in the antioxidant system, on improving the quality of Arra 15 grapes grown in the São Francisco Valley, a region with challenging climatic conditions. The experiment was conducted at Fazenda Galdino, in Petrolina-PE, using grapevines grafted onto the SO4 rootstock and cultivated in a trellis system. Different Se concentrations (0, 10, 20, 40 g ha⁻¹) were applied via foliar spraying using sodium selenate during the full flowering phase, and characteristics such as total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), TSS/TA ratio, bunch mass, bunch size, berry set, and productivity were evaluated. The results showed that the dose of 20 g ha⁻¹ of Se significantly increased TSS and the TSS/TA ratio, in addition to improving berry set and productivity by 12.06%, equivalent to approximately 4 t ha⁻¹ more than the control. It is concluded that Se application can be an effective strategy to improve the quality and productivity of Arra 15 grapes, making them more competitive in national and international markets.

Keywords: stress; grapevine; *Vitis vinifera* L.; selenate, semi-arid.

2.1 INTRODUÇÃO

A produção de frutas de alta qualidade é essencial para a competitividade no mercado agrícola (OIV, 2017), mas fatores como altas temperaturas, radiação solar e déficit hídrico, podem afetar o metabolismo das plantas e comprometer a qualidade dos frutos (Borghesan, 2017; Rizwan *et al.*, 2020; Hopf *et al.*, 2022). Nas uvas, esses estresses podem prejudicar a aparência e sabor das bagas, o que é crucial para a aceitação no mercado (Sadras *et al.*, 2013; van Leeuwen *et al.*, 2013; Sadras; Moran; Petrie, 2017; Drappier *et al.* 2019; Costa *et al.* 2020). Essas perdas de qualidade impactam diretamente no valor comercial das uvas, já que o mercado valoriza frutas com uma boa relação entre sólidos solúveis e acidez (SS/AT) e aparência atraente (Reis; Reis, 2016).

Variedades como a Arra 15 (Arra Sweeties™), conhecida por suas bagas brancas, sem sementes e crocantes, são especialmente valorizadas no mercado (Santos *et al.*, 2014). No entanto, essa variedade é vulnerável a problemas como manchas oxidativas, endurecimento e alta acidez das bagas, especialmente sob condições estressantes, o que pode reduzir sua

qualidade (Santos, 2009), impactando tanto na renda dos produtores, como comprometendo a inserção do produto em mercados, tanto nacional quanto internacionalmente (Reis; Reis, 2016).

O Se, um elemento benéfico com propriedades antioxidantes, age na proteção das plantas contra danos causados por estresse abiótico (Hunter, 2014; Lanza; Reis, 2021). A aplicação de Se em diversas culturas pode modular o metabolismo de carboidratos, alterando níveis de açúcares como glicose, frutose e sacarose, o que impacta o crescimento e a resposta ao estresse das plantas (Xue *et al.*, 2012; Padalkar *et al.*, 2023). Além de reduzir o estresse oxidativo, o Se favorece o acúmulo desses açúcares que melhoram a qualidade e a produtividade, mesmo em condições adversas (Deng *et al.*, 2019; Reis *et al.*, 2018, Silva *et al.*, 2018).

No contexto da viticultura no Vale do São Francisco, apesar de ser uma região propensa a estresses abióticos, ela se destaca pela sua capacidade de produção de uvas, o que gerou em 2022 um valor bruto de quase 2 bilhões de reais, além de ser responsável por 98% das exportações de uva do Brasil (Embrapa, 2023). Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do Se em parâmetros de qualidade da uva Arra 15, cultivadas no Vale do São Francisco. A pesquisa visa fornecer informações que possam contribuir para a otimização da produção e para o fortalecimento da competitividade do produto nos mercados mais exigentes.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

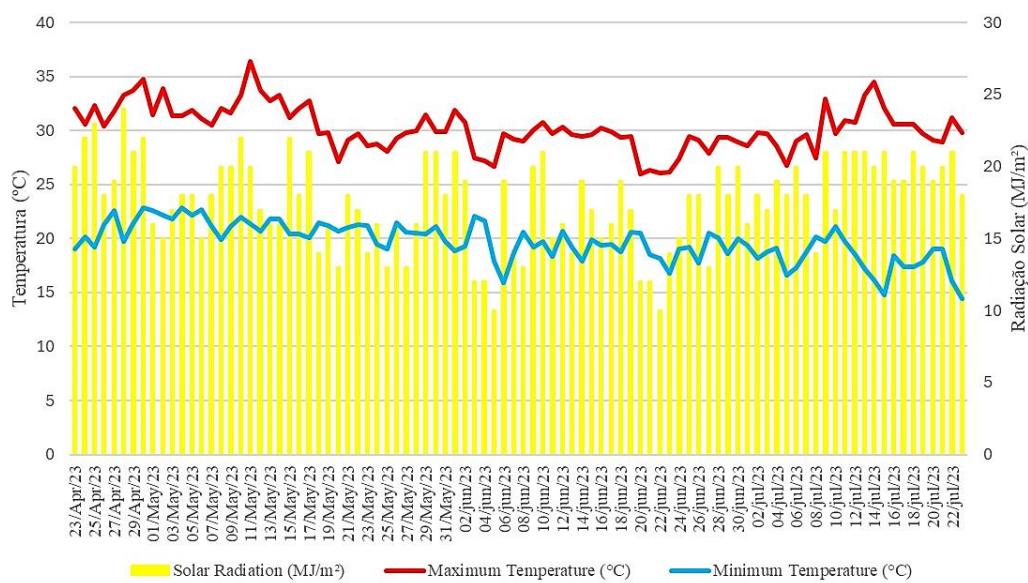
2.2.1 Condição de cultivo

Para avaliar o efeito da aplicação foliar de Se em videiras, foi realizado um experimento na Fazenda Galdino, localizada no N9, em Petrolina – PE (coordenadas: -9.332063, -40.531472). A área experimental foi composta por videiras apirênicas da variedade Arra 15, enxertadas sobre o porta-enxerto SO4. As plantas, com dois anos de idade, foram cultivadas em sistema de latada, com espaçamento de 3 x 1,5 metros, e irrigadas por gotejamento, fornecendo uma vazão de 12 litros por hora. O período experimental ocorreu de 23 de abril a 23 de julho de 2023.

Durante todo o período experimental foi realizado o monitoramento das condições climáticas através da estação meteorológica da Arable: Total Crop Intelligence. Os fatores

coletados destacam a importância dos dados da Figura 1, que mostram as variações de temperatura e radiação durante o experimento.

Figura 1. Valores de temperatura máxima, temperatura mínima e radiação solar, registradas durante a condução do experimento (abril a julho de 2023), Petrolina – Pe, 2023



Fonte: Próprio autor.

2.2.2 Desenho experimental

Os tratamentos foram conduzidos utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com 4 blocos e 4 repetições. Cada repetição foi composta por 10 plantas úteis, totalizando 40 plantas por tratamento. Foram aplicadas 4 concentrações de Se via foliar na fonte de selenato de sódio (Na_2SeO_4), nas doses de (0; 10; 20 e 40 g ha^{-1}).

A aplicação foi realizada com o uso de uma bomba costal, seguindo a proporção de volume de calda da fazenda, que era de 600 L/ha. A quantidade de selenato para cada tratamento foi estipulada e aplicada em cada repetição, utilizando o volume de 10 litros na bomba costal. A aplicação ocorreu 30 dias após a poda (DAP), durante a fase fenológica de florada plena, entre as 7h e 10h da manhã. A primeira coleta de material foi feita na fase ervilha, com 65 DAP, e a segunda coleta ocorreu na colheita, com 120 DAP.

2.2.3 Análises físico-químicas e agronômicas

Na determinação das características físico-químicas foram avaliados cinco cachos no total, escolhidos aleatoriamente entre as 10 plantas de cada repetição e extraiu-se o suco de 10 bagas por cacho e foram feitas as análises de acordo com as normas do Manual do Instituto Adolfo Lutz (2008), avaliando-se os parâmetros de: I) Teor de sólidos solúveis (SST), utilizando-se um refratômetro de bancada tipo Abbe, com resultados expressos em °Brix; II) Acidez titulável (AT), determinada através de titulometria com solução de NaOH (0,1 M), tendo como indicador fenolftaleína 1%, resultados expressos em g de ácido tartárico por 100 mL de suco; III) calculou-se também a relação de sólidos solúveis pela acidez titulável (SS/AT).

As análises agronômicas consistiram na avaliação de cinco cachos no total, escolhidos aleatoriamente entre as 10 plantas de cada repetição: I) A massa dos cachos foi determinada utilizando uma balança digital com precisão de 1 g, e os resultados foram expressos em g. II) O tamanho dos cachos foi medido com o uso de uma régua, da primeira baga perto do pecíolo até a última baga do cacho na parte inferior, sendo os resultados expressos em cm. III) A taxa de pegamento de cacho foi avaliada medindo a quantidade de bagas e se dividindo pelo tamanho do engajo total (engajo primeiro + engajo secundário), resultando em uma estimativa de pegamento em bagas/cm. IV) Para a produtividade, primeiramente, somou-se o peso total dos cachos coletados de cada uma das 10 plantas de cada repetição. Em seguida, foi calculada a média de produção por planta dentro de cada repetição. Posteriormente, essa média foi multiplicada pelo número de plantas por hectare. O resultado forneceu a estimativa da produtividade em $t\ ha^{-1}$.

2.2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e, as diferenças entre os tratamentos, foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade utilizando-se o software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2014).

2.3 RESULTADOS

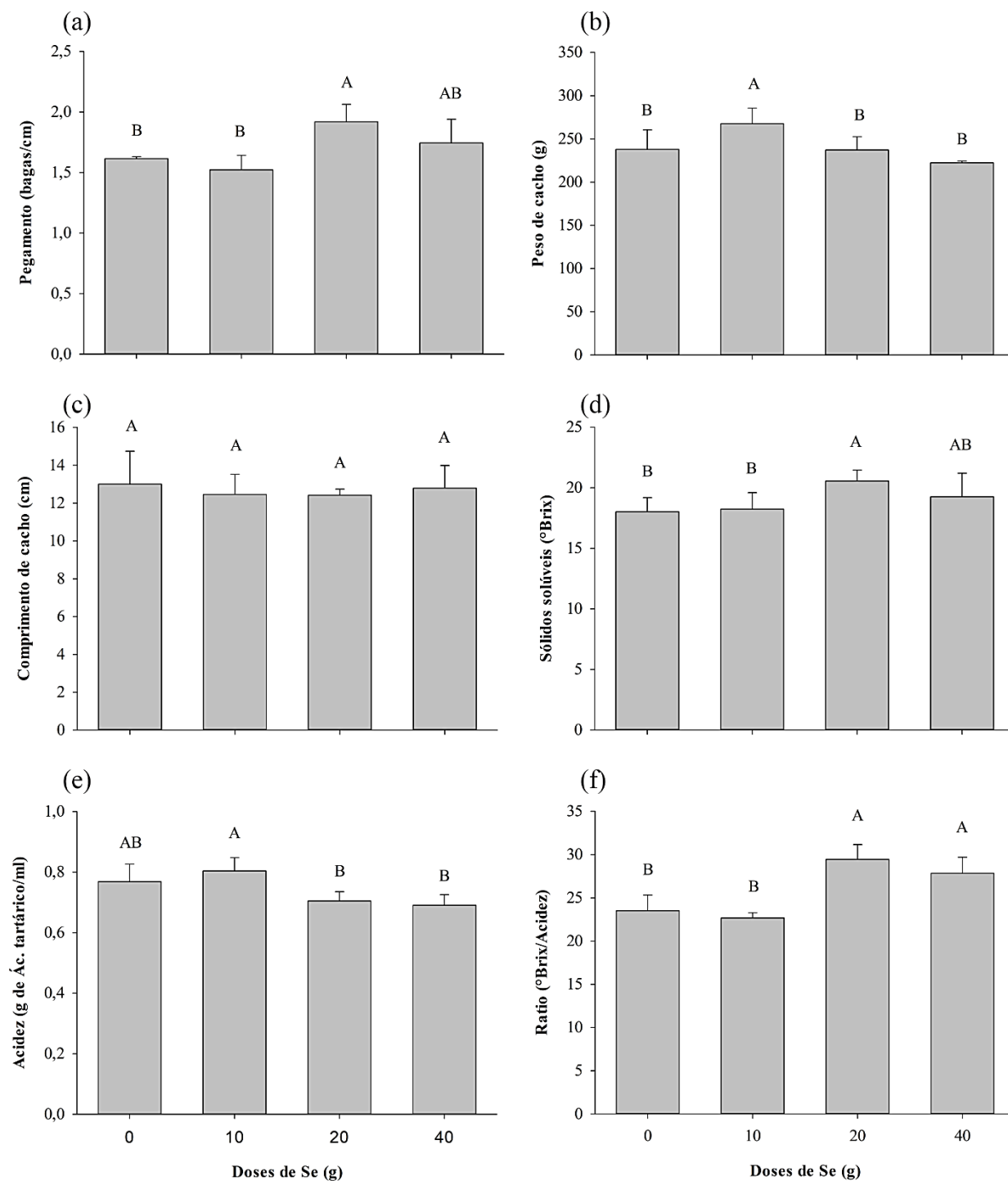
Na variável de pegamento, a dose de $20\ g\ ha^{-1}$ demonstrou um melhor resultado, exibindo 26% a mais de pegamento de bagas no cacho em comparação com o tratamento controle (Figura 2a). As demais doses não diferiram do tratamento controle.

Das análises biométricas realizadas, destaca-se que apenas a variável de peso de cacho (Figura 2b) apresentou diferença estatística. A suplementação com 10 g ha^{-1} de Se apresentou valores superiores em relação aos demais tratamentos, para esta dose houve um aumento de 11% quando comparado ao controle. Por outro lado, para a variável comprimento de cacho (Figura 2c), não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos estudados.

Para SST, a dose de 20 g ha^{-1} de Se apresentou aumento de 2,3 °Brix em comparação ao controle, equivalendo a 12,9% a mais de SST para o tratamento (Figura 2d). Em relação à AT, as doses de 40 g ha^{-1} e 20 g ha^{-1} apresentaram os teores mais baixos de acidez (Figura 2e).

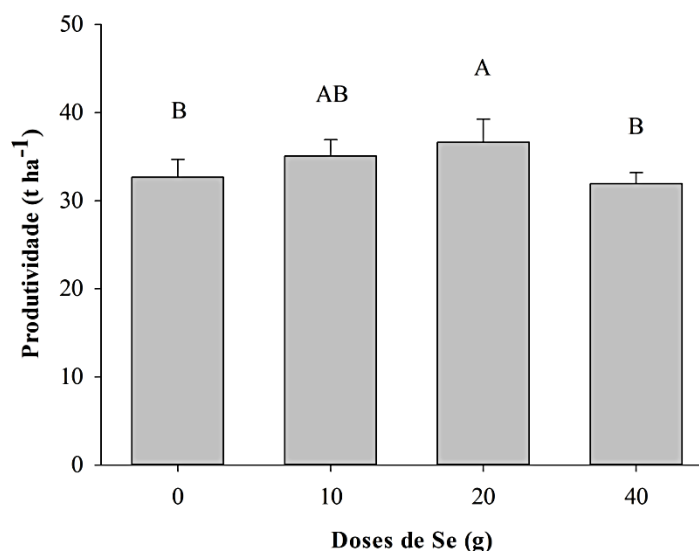
Quanto ao Ratio, que representa a relação entre °Brix e acidez utilizada como parâmetro para colheita, as doses mais eficazes foram 20 g ha^{-1} e 40 g ha^{-1} (Figura 2f), com o aumento médio de 20% e 17%, respectivamente em comparação ao controle.

Figura 2. Teste de comparações de medias: Pegamento (a), Peso de cacho (b), comprimento dos cachos (c), °Brix das bagas (d), acidez das bagas (e) e ratio das bagas (f), submetidas a diferentes doses de Se: 0 g ha⁻¹, 10 g ha⁻¹, 20 g ha⁻¹ e 40 g ha⁻¹. Os dados referem-se as medias das 4 repetições de cada tratamento. Letras diferentes referem-se à diferença estatísticas a 5% pelo teste de Tukey. Petrolina – Pe, 2023



Fonte: Próprio autor.

Figura 3. Teste de comparações de medias: Produtividade das uvas submetidas a diferentes doses de Se: 0 g ha⁻¹, 10 g ha⁻¹, 20 g ha⁻¹ e 40 g ha⁻¹. Os dados referem-se as medias das 4 repetições de cada tratamento. Letras diferentes referem-se à diferença estatísticas a 5% pelo teste de Tukey. Petrolina – Pe, 2023.



Fonte: Próprio autor.

A aplicação de Se resultou em incremento na produtividade em 12,06%, na dose de 20 g ha⁻¹, que equivale aproximadamente 4 t ha⁻¹ a mais dos valores referentes ao controle (Figura 3).

2.4 DISCUSSÕES

A qualidade das uvas de mesa é fortemente influenciada pelos sólidos solúveis totais (SST), medidos em °Brix, que determinam a doçura e o sabor dos frutos, sendo essenciais para a exportação no Vale do São Francisco (Basti *et al.*, 2011). Além do °Brix, características visuais como cor, tamanho, forma e textura são fundamentais para atender às expectativas dos consumidores e garantir um produto de alta qualidade (Souza *et al.*, 2015). A obtenção do °Brix ideal é desafiadora devido a variabilidades climáticas e fatores bióticos e abióticos (Leão; Rodrigues, 2009).

No nosso estudo, observou-se que a aplicação de 20 g ha⁻¹ de Se resultou em uma melhora significativa na qualidade dos frutos, facilitando a obtenção do °Brix desejado de maneira mais eficaz comparado ao tratamento controle. Estudos recentes mostram que a aplicação de Se pode modular o metabolismo de carboidratos, incluindo os níveis de açúcares

solúveis totais, glicose, frutose e sacarose (Xue *et al.*, 2012; KE *et al.*, 2022; Padalkar *et al.*, 2023), onde é visto por estudos em diferentes frutas, como morango (LIU *et al.*, 2023), maçã (Deng *et al.*, 2019), jujuba (Jing *et al.*, 2017) e pêra (Babalar *et al.*, 2019). Essa modulação na síntese de açúcares contribuem para uma maior eficiência na obtenção do °Brix desejado, e também melhorando a qualidade geral da fruta.

A AT é um parâmetro crucial na avaliação da qualidade das uvas de mesa, especialmente considerando que valores superiores a 0,8 g de ácido tartárico/mL são tidos como elevados para este tipo de fruto. A AT está diretamente relacionada ao conteúdo de ácidos orgânicos, como o tartárico e o málico, que são componentes essenciais do sabor e diminuem à medida que o fruto amadurece, em função da diluição dos ácidos e do aumento do pH (Franco-Bañuelos *et al.*, 2019). No presente estudo, os resultados obtidos situam-se dentro dos parâmetros considerados normais, particularmente nas doses de 20 g ha⁻¹ e 40 g ha⁻¹ de Se, onde se constatou o menor teor de AT (Figura 2e). Essa redução na acidez é consistente com outros estudos, como os de Liu *et al.* (2012) em Perá e Wen *et al.* (2021) em Citrus, que também evidenciaram a influência do manejo nutricional com Se na regulação da acidez dos frutos.

Comercialmente, a relação entre os SST e a AT, conhecida como Ratio, é uma medida confiável para avaliar o sabor das frutas, sendo que uma relação SST/AT igual ou superior a 20 é considerada desejável (Choudhury, 2001). Estudos mostram que uma maior Ratio está associada a um sabor mais agradável (Saradhuldhath; Paull, 2007). No presente estudo, a análise da Ratio reforça a influência da fertilização com 20 g ha⁻¹ e 40 g ha⁻¹ de Se, com os valores de SST/AT nas frutas tratadas superando os parâmetros de referência em comparação com o grupo controle. Essa relação equilibrada é crucial para determinar o momento ideal de colheita, destacando a relevância do Se na regulação da maturação balanceada dos frutos.

Dentre diversos fatores que influenciam a fixação dos frutos em videiras, a disponibilidade de açúcares, como a sacarose, desempenha um papel crucial não apenas como fonte de energia, mas também como reguladores do desenvolvimento celular (Lebon *et al.*, 2008). A maior disponibilidade de açúcares durante as fases críticas de desenvolvimento dos frutos pode promover uma maior taxa de pegamento, resultando em um incremento na produtividade das videiras (Lebon *et al.*, 2008). Nesse contexto, o aumento no pegamento, particularmente na dose de 20 g ha⁻¹ de Se, pode ser relacionado tanto com as propriedades antioxidantes do Se quanto com sua influência no metabolismo de carboidratos (Ke *et al.*, 2022, Padalkar *et al.*, 2023).

A variação nas análises biométrica mostrou uma resposta significativa apenas na dose de 10 g ha⁻¹ de Se em relação ao peso do cacho. Esse resultado sugere uma melhoria na

translocação de carboidratos da folha para o cacho, refletindo um fenômeno observado em estudos anteriores sobre a suplementação de Se e a influência no acúmulo de açúcar em órgãos vegetais (Hernández-Hernández *et al.*, 2019; Zhu *et al.*, 2020; Araujo *et al.*, 2023).

No entanto, a não observação de diferenças estatísticas no comprimento de cacho, destaca a complexidade dos processos de crescimento e desenvolvimento com a presença do elemento. As variações nos efeitos observados nas variáveis podem ser atribuídas à influência do Se, que demonstra variação entre diferentes espécies, conforme apontado por Deng *et al.* (2019). É crucial destacar que essas diferenças podem ser fortemente influenciadas pela variedade específica utilizada no presente estudo.

A aplicação foliar de Se (20 g ha⁻¹), demonstrou estimular de forma positiva o crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando em um incremento na quantidade de açúcar e solúveis na baga, o que pode ter influenciado diretamente no aumento de produtividade ao final do ciclo.

2.5 CONCLUSÕES

A aplicação foliar de Se aumentou a taxa de pegamento de cacho, elevando os sólidos solúveis e estabelecendo uma relação equilibrada entre Brix e acidez. Esses resultados, associados ao ganho expressivo na produtividade, destacam a eficácia do Se na otimização do rendimento e da qualidade da uva. Portanto, a aplicação foliar de Se na dose 20 g ha⁻¹ é uma estratégia promissora para aumento da qualidade e produtividade das uvas de mesa no Vale do Submédio do São Francisco.

REFERÊNCIA

- ARAÚJO, M. A. *et al.* Selenium enhances ROS scavenging systems and sugar metabolism increasing growth of sugarcane plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 201, p. 107798, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107798>.
- BASTIAS, A. *et al.* Modulation of organic acids and sugar content in tomato fruits by an abscisic acid-regulated transcription factor. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 141, n. 3, p. 215-226, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2010.01435.x>.
- BORGHEZAN, M. Formação e maturação da uva e os efeitos sobre os vinhos: Revisão. **Ciência Téc. Vitiv.**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 126-141, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1051/ctv/20173202126>.
- COSTA, C. *et al.* The interplay between atmospheric conditions and grape berry quality parameters in Portugal. **Applied Sciences**, Bucharest, v. 10, n. 14, art. 4943, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10144943>.
- CHOUDHURY, M. M. **Uva de mesa: pós-colheita**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina-PE: Embrapa Semi-Árido, 2001. 55 p. (Frutas do Brasil, 12).
- DRAPPIER, J. *et al.* Relationship between wine composition and temperature: Impact on Bordeaux wine typicity in the context of global warming: review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, New York, v. 59, n. 1, p. 14–30, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355776>.
- DENG, X. F. *et al.* Absorção de selênio e qualidade de frutos de pera (*Pyrus communis* L.) tratada com aplicação foliar de Se. **Jornal de Nutrição de Plantas e Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 182, p. 637–646, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201800295>.
- EMBRAPA. **Observatório da uva**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/observatorio-da-uva-2023>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- FRANCO-BAÑUCLÓS, A. *et al.* Uso de reguladores de crecimiento en el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante de la uva Red Globe. **Agrociencia**, Montevideo, v. 53, p. 881-894, 2019.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, H. *et al.* Impacto das nanopartículas de selênio e cobre no rendimento, sistema antioxidante e qualidade dos frutos de tomateiro. **Plantas**, [s. l.], v. 8, p. 355, 2019. DOI: [10.3390/plants8100355](https://doi.org/10.3390/plants8100355).
- HOPF, A. *et al.* Dynamic prediction of fruit quality traits as a function of environmental and genetic factors. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 1353, p. 145-152, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1353.19>.

HUNTER, P. M. Water, electrolytes and micronutrients. **Topic 2 Copyright © by ESPEN LLL Programme**. [S. l.: s. n], 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

JING, D.-W. *et al.* Selenium enrichment, fruit quality and yield of winter jujube as affected by addition of sodium selenite. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 225, p. 1-5, 2017. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.06.036.

KE, X. *et al.* Phosphoenolpyruvate reallocation links nitrogen fixation rates to root nodule energy state. **Science**, Washington, v. 378, n. 6623, p. 971–977, 2022. DOI: 10.1126/science.abq8591.

LEBON, G. *et al.* Sugars and flowering in the grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 10, p. 2565-2578, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ern135>.

LIU, Y. *et al.* Insights into the mechanism of flavor loss in strawberries induced by two fungicides integrating transcriptome and metabolome analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Amsterdam, v. 71, n. 8, p. 3906-3919, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08157>.

LIU, Q. *et al.* Effect of spraying selenium on the pear fruit quality. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 940, p. 545-549, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.940.78>.

LEÃO, P. C. de S.; RODRIGUES, B. L. Manejo da copa. In: SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. de S. **A vitivinicultura no Semiárido brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. Cap. 8, p. 295-347.

LANZA, M. G. D. B.; REIS, A. R. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 164, p. 27-43, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.026>.

OIV. International Organization of Vine and Wine. Database and Statistics. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <http://www.oiv.int/>. Acesso em: 18 ago. 2024.

PADALKAR, G. *et al.* Necessity and challenges for exploration of nutritional potential of staple-food grade soybean. **Journal of Food Composition and Analysis**, Maryland Heights, v. 117, art. 105093, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105093>.

REIS, A. R. *et al.* Biofortificação agrônômica com selênio no Brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupa, v. 8, n. 2, p. 128-138, 2014. <https://doi.org/10.18011/bioeng2014v8n2p128-138>.

REIS, H. P. G. *et al.* Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of Cereal Science**, London, v. 79, p. 508-515, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.004>.

REIS, A. R. *et al.* Overview of selenium deficiency and toxicity worldwide: affected areas, selenium-related health issues, and case studies. In: **Selenium in plants: molecular, physiological, ecological and evolutionary aspects**. Switzerland: Springer, 2017. p. 209-230. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-56249-0_13.

REIS, L.; REIS, P. C. Viabilidade econômica do cultivo de uva irrigada no município de Petrolina, PE. **Enciclopédia Biosfera**, St. Petersburg, v. 13, n. 24, 2016. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1098>.

RIZWAN, R. *et al.* Modeling phenological responses of table grape cultivars [Poster]. ICROP2020: Second International Crop Modelling Symposium, 2020. Disponível em: <https://inria.hal.science/hal-02950242>.

SARADHULDHAT, P.; PAULL, R. E. Metabolism and accumulation of organic acids in pineapple during fruit development. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 112, p. 297–303, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.031>.

SILVA, V. M. *et al.* Physiological, biochemical, and ultrastructural characterization of selenium toxicity in cowpea plants. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 150, p. 172-182, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.020>.

SANTOS, I. R. C. dos. **Escurecimento enzimático em frutos: polifenoloxidase de atemóia** (*Annona cherimola* Mill. X *Annona squamosa* L.). 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara, Araraquara, 2009.

SOUZA, G. M. M. *et al.* Perfil socioeconômico e ambiental da produção integrada de uva no Submédio do Vale do São Francisco. **Gaia Scientia**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 107-112, 2015.

SADRAS, V. O. *et al.* Effects of elevated temperature in grapevine. I Berry sensory traits. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, New York, v. 19, n. 1, p. 95–106, 2013. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12007>.

SADRAS, V.; MORAN, M.; PETRIE, P. Resiliência da produção de videiras em resposta ao aquecimento. **OENO One**, [s. l.], v. 51, n. 4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.4.1913>.

SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. de S. (ed.). **A viticultura no semiárido brasileiro**. [S. l.]: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Semi-Árido, 2009.

SANTOS, A. E. O. dos *et al.* Evolução da maturação fisiológica de uvas apirenas cultivadas no Vale do Submédio do São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 25-30, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3345>.

VAN LEEUWEN, C. *et al.* Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 110, n. 33, p. E3051–E3052, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1307927110>.

WEN, M. *et al.* Efeitos da pulverização foliar com diferentes concentrações de fertilizante de selênio no desenvolvimento, absorção de nutrientes e qualidade de frutas cítricas.

HortScience, Alexandria, v. 56, n. 11, p. 1363-1367, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI16074-21>.

XUE, G. *et al.* Influences of spraying two different forms of silicon on plant growth and quality. **Chinese Agricultural Science Bulletin**, [s. l.]v. 28, n. 16, p. 272-276, 2012.

<https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.2011-3863>.

ZHU, S. *et al.* 1-Methylcyclopropene on fruit quality of Se-enriched grape (*Vitis vinifera* L.) during shelf life period. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 9, p. 1411, 2020. DOI:

[10.3390/agronomy10091411](https://doi.org/10.3390/agronomy10091411).