



FABIANO LUIS DE SOUSA RAMOS FILHO

**SELÊNIO E IODO NA QUALIDADE DE UVAS E SUCOS DA
CULTIVAR BORDÔ PRODUZIDOS EM REGIÕES
SUBTROPICAIS**

**LAVRAS-MG
2025**

FABIANO LUIS DE SOUSA RAMOS FILHO

**SELÊNIO E IODO NA QUALIDADE DE UVAS E SUCOS DA *CULTIVAR BORDÔ*
PRODUZIDOS EM REGIÕES SUBTROPICAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Rafael Pio
Orientador

Prof. Dr. Pedro Maranhã Peche
Coorientador

**LAVRAS-MG
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ramos Filho, Fabiano Luis de Souza.

Selênio e iodo na melhoria da qualidade de uvas e sucos da
Cultivar Bordô produzidos em regiões subtropicais / Fabiano Luis de
Souza Ramos Filho. - 2025.

47 p. : il.

Orientador(a): Rafael Pio.

Coorientador(a): Pedro Maranha Peche.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Biofortificação. 2. Videira. 3. *Vitis spp.* I. Pio, Rafael. II.
Peche, Pedro Maranha. III. Título.

FABIANO LUIS DE SOUSA RAMOS FILHO

**SELÊNIO E IODO NA MELHORIA DA QUALIDADE DE UVAS E SUCOS DA
CULTIVAR BORDÔ PRODUZIDOS EM REGIÕES SUBTROPICAIS**

**SELENIUM AND IODINE IN IMPROVING THE QUALITY OF GRAPES AND
JUICES FROM *CULTIVAR BORDÔ* PRODUCED IN SUBTROPICAL REGIONS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2025.

Dr. Pedro Maranha Peche (UFLA).

Dr. Francisco Mickael de Medeiros Câmara (EPAMIG).

Dr^a. Paula Nogueira Curi (EPAMIG).

Prof. Dr. Rafael Pio
Orientador

**LAVRAS-MG
2025**

AGRADECIMENTOS

A princípio, gostaria de agradecer à minha família. A meus pais, Sueli Torres e Fabiano Ramos, e a meus irmãos, Fernanda Torres, Flávio Ramos e Flávia Torres, que me ajudaram de incontáveis formas para chegar aonde estou. Assim como as minhas avós, Dalila Torres e Maria Sousa.

Aos meus orientadores, Rafael Pio e Pedro Peche, que me orientaram em todos os passos da dissertação e tiveram paciência e vontade de repassar seus ensinamentos sobre Fitotecnia, me inspirando a seguir na área da Fruticultura e deixando o mestrado uma experiência marcante em minha vida.

Aos orientados do professor Rafael Pio, tanto de graduação quanto pós-graduação, que se dispuseram a ajudar na implementação desta dissertação. Em especial, ao discente de doutorado Carlos Milagres, que sacrificou folgas e tempos livres para me ajudar e/ou explicar coisas que tive dificuldades.

Ao Grupo de Pesquisa Viti-Olivo, por usarem seu tempo de aprendizado na realização desse projeto.

À secretaria de pós-graduação, em especial a Marli, por toda a sua disposição, cuidado, competência e disponibilidade em ajudar a vida do pós-graduando com tudo que se dispõe.

A todos do Setor de Fruticultura da UFLA; um setor que se demonstrou unido, e de alguma forma, ajudou-me durante a realização do mestrado. Especialmente ao Professor Luiz Roberto Guimarães Guilherme e ao Pós-doutorando Everton Geraldo de Moraes.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro, essencial para o desenvolvimento desse projeto. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento e Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

E, também, aos doutores da EPAMIG de Caldas, pela ajuda e apoio em todo o projeto.

“O futuro vai serenar o mar”.

(Uta)

RESUMO

A produção de uvas de mesa e sucos tem ganhado destaque devido ao aumento do consumo no Brasil. A vitivinicultura no Brasil vem demonstrando ter grande valor comercial, isso é constatado na viticultura praticada nas zonas subtropicais. A biofortificação agronômica é uma estratégia que age como um reforço na capacidade de combater estresse oxidativo causado por radicais livres, fortalecendo o desenvolvimento da planta e assim podendo tornar as plantas menos sensíveis ao estresse abiótico. Assim, a biofortificação agronômica com selênio e iodo pode contribuir no desenvolvimento da planta. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de selênio e iodo, a partir da biofortificação agronômica, na melhoria do desenvolvimento vegetativo e produtivo, além da qualidade dos frutos da videira. O trabalho foi realizado na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) - Campo experimental de Caldas, MG, nos ciclos produtivos de 2023/2024 e 2024/2025. Foram aplicados tratamentos com selênio (Se) e iodo (I), via foliar, no período de floração e no período de maturação das bagas em plantas da cultivar 'Bordo clone 16' (Bocaina). Os tratamentos utilizados foram a Testemunha, Selenato de sódio (Na_2SeO_4), Fisium Se, Nutriduo, Na_2SeO_4 + Iodato de Potássio (KIO_3), Fisium Se + KIO_3 e Nutriduo + KIO_3 . O delineamento utilizado foi blocos inteiramente casualizados (DBC). Foram avaliados comprimento, diâmetro, massa fresca de bagas, pH, acidez titulável, sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), coloração de baga, compostos fenólicos totais pelo método folin-ciocalteau, antocianinas totais e extrato seco. As análises mostraram que os tratamentos contendo iodato + Fisium Se e iodato de potássio + Selenato de sódio demonstraram os melhores desempenhos ao longo dos dois ciclos.

Palavras-chave: biofortificação; videira; *Vitis spp.*

ABSTRACT

The production of table grapes and juices from american and european grapes in Minas Gerais State, although still incipient, has gained prominence due to the increase in consumption in Brazil. Winemaking in Brazil has demonstrated great commercial value, but climate change has been affecting grape production worldwide. This is seen in viticulture practiced in subtropical zones. Agronomic biofortification is a strategy that, in addition to aiming to combat hidden hunger, which would be the lack of micronutrients essential to the human body that can be consumed through food, acts as a reinforcement in the ability to combat oxidative stress caused by free radicals, strengthening plant development and thus making plants less sensitive to abiotic stress. Thus, agronomic biofortification with selenium and iodine can contribute to plant development. Thus, this work aimed to evaluate the influence of the application of selenium and iodine, based on agronomic biofortification, on improving vegetative and productive development, in addition to the quality of vine fruits. The work was carried out at the EPAMIG Experimental Field in Caldas, Minas Gerais State, Brazil. Treatments with selenium and iodine were applied, during the flowering period and at veraison on plants of the cultivar 'Bordo clone 16' (Bocaina). Pruning weight, production, fruit quality and juices produced were evaluated in two harvest cycles. The analysis showed that the treatments containing iodate + Fisiun Se and iodate + Sodium Selenate demonstrated the best performances throughout the two cycles.

Keywords: biofortification; vine; *Vitis spp.*

INDICADORES DE IMPACTOS

A produção de uvas de mesa e sucos no Brasil tem ganhado destaque, especialmente em Minas Gerais, impulsionada pelo aumento do consumo interno. Regiões como o Sul de Minas e o Campo das Vertentes, com clima subtropical, apresentam grande potencial para a vitivinicultura, destacando-se pela qualidade dos frutos e pela importância econômica crescente da atividade. Esse cenário representa uma oportunidade estratégica para fruticultores locais, contribuindo para a geração de emprego, renda e fortalecimento da agricultura regional. Apesar do avanço, é necessário melhorar a qualidade dos frutos e seus derivados, além de adotar outras estratégias que estimulem o consumo de sucos produzidos nessas regiões. Por serem originárias de clima temperado, as videiras enfrentam desafios quando cultivadas em zonas subtropicais, estando sujeitas a estresses abióticos como altas temperaturas e estresse hídrico, considerado um dos principais fatores limitantes da produtividade. Nesse contexto, a biofortificação com selênio e iodo surge como uma prática agrônômica promissora. O selênio, aplicado via foliar, pode ativar mecanismos antioxidantes, aumentando a resistência das plantas ao estresse ambiental. O iodo, por sua vez, tem demonstrado efeitos positivos no metabolismo vegetal, estimulando o acúmulo de biomassa e a antecipação da floração. A aplicação conjunta desses micronutrientes pode, portanto, melhorar o desempenho agrônômico e a qualidade nutricional das uvas e de seus derivados. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da biofortificação foliar com selênio e iodo na cultivar ‘Bordo 16 – Bocaina’, cultivada em regiões subtropicais de Minas Gerais. Os resultados demonstraram que os tratamentos com iodato de potássio associado a fontes de selênio apresentaram os melhores desempenhos ao longo dos ciclos. A pesquisa reforça o potencial da biofortificação como estratégia eficiente para o manejo de videiras sob condições adversas, contribuindo para a produção de alimentos funcionais e o desenvolvimento sustentável da vitivinicultura regional.

IMPACT INDICATORS

The production of table grapes and grape juice in Brazil has gained prominence, especially in the state of Minas Gerais, driven by the increase in domestic consumption. Regions such as southern Minas Gerais and Campo das Vertentes, characterized by a subtropical climate, show great potential for viticulture, standing out for the quality of their fruits and the growing economic importance of the activity. This scenario represents a strategic opportunity for local fruit growers, contributing to job creation, income generation, and the strengthening of regional agriculture. Despite this progress, it is necessary to improve the quality of the fruits and their derivatives, as well as to adopt other strategies that stimulate the consumption of juices produced in these regions. Since grapevines originate from temperate climates, they face challenges when cultivated in subtropical zones, being exposed to abiotic stresses such as high temperatures and water stress, the latter being considered one of the main limiting factors for productivity. In this context, biofortification with selenium and iodine emerges as a promising agronomic practice. Selenium, when applied via foliar spraying, can activate antioxidant mechanisms, increasing the plant's resistance to environmental stress. Iodine, in turn, has shown positive effects on plant metabolism, stimulating biomass accumulation and promoting earlier flowering. The combined application of these micronutrients can, therefore, improve both the agronomic performance and the nutritional quality of grapes and their derivatives. This study aimed to evaluate the effects of foliar biofortification with selenium and iodine on the 'Bordo 16 – Bocaina' grape cultivar, grown in subtropical regions of Minas Gerais. The results demonstrated that treatments combining potassium iodate with selenium sources showed the best performances throughout the cultivation cycles. The research reinforces the potential of biofortification as an efficient strategy for managing grapevines under adverse conditions, contributing to the production of functional foods and the sustainable development of regional viticulture.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	VITICULTURA BRASILEIRA E MUNDIAL.....	10
2.2	PRODUÇÃO DE SUCO	11
2.3	ASPECTOS GERAIS DO CULTIVO DA VIDEIRA.....	12
2.4	MANEJO, PRODUÇÃO DE SUCO E CICLO DE INVERNO	13
2.5	BIOFORTIFICAÇÃO DE PLANTAS	14
2.6	SELÊNIO	15
2.7	IODO.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
	REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

A exploração comercial da videira nas zonas subtropicais brasileiras, visando a produção de uvas para mesa e sucos tem ganhado destaque devido ao aumento do consumo no Brasil. Isso porque o consumo de uvas para mesa e sucos de uva no Brasil tem aumentado, principalmente no estado de Minas Gerais, que tem ganhado cada vez mais notoriedade. Perante esse fato, a produção de uvas e sucos produzidos em Minas Gerais é uma grande oportunidade para os fruticultores mineiros.

No estado de Minas Gerais, as regiões Sul e Campo das Vertentes (zonas subtropicais) têm se demonstrado com alto potencial produtivo para as videiras, produzindo frutos e subprodutos de boa qualidade. A produção vem desenvolvendo na localidade uma cadeia produtiva, com alta importância econômica e social, capaz de gerar emprego e renda. Importante frisar que, há necessidade de se aprimorar a qualidade e, principalmente as estratégias de marketing visando a elevação do consumo de sucos, principalmente, produzidos nas zonas subtropicais mineiras.

As videiras são plantas de clima temperado e quando cultivadas em zonas subtropicais, estão constantemente expostas a estresses abióticos, principalmente as altas temperaturas e distribuição irregular das precipitações, considerando-se assim o estresse hídrico como um dos principais fatores limitantes na produtividade de uvas para o processamento nas regiões subtropicais brasileiras. Adubações foliares com selênio podem apresentar resultados positivos devido à função desses elementos de propiciar mecanismos de resistência nas plantas. O iodo apresenta evidências de ter um papel no processo metabólico das plantas, promovendo o aumento da produção de biomassa e antecipação da floração.

A biofortificação com selênio e iodo da videira nas regiões subtropicais de altitude do estado de Minas Gerais para produção de sucos de melhor qualidade possui potencial intrínseco de agregar valor à produtos de alta importância para o desenvolvimento da região, associando ao oferecimento de alimentos de melhor qualidade ao consumidor final.

Para se constatar a eficiência desta prática de manejo sobre as videiras, este estudo teve como objetivo verificar o impacto do selênio e iodo na qualidade de uvas da cultivar “Bordo 16 - Bocaina” e sucos em regiões subtropicais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Viticultura brasileira e mundial

A produção de uvas no Brasil foi modificada conforme a expansão de videiras em regiões não tradicionais. Além da alteração no mapa vitivinícola, a diversidade de climas e solos que as videiras adaptaram, em solo brasileiro, se mostrou como um grande diferencial na qualidade dos produtos elaborados, contribuindo para a evolução do vinho brasileiro (Wurz, 2017).

Atualmente os estados brasileiros produtores de vinho são: Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso, Bahia, Pernambuco, Ceará, Maranhão e Rio Grande do Sul. Dentre estes, o estado do Rio Grande do Sul é o maior ponto de produção nacional de uvas (Copello, 2015). No início da segunda década do século XXI o Brasil já havia conseguido o posto de sexta maior área de produção orgânica de uva do mundo, já entre as áreas permanentes, posicionava o quinto lugar (Lernoud & Willer, 2015).

A vitivinicultura brasileira vem mantendo estabilidade quando comparada a anos anteriores, além do ano de 2021 ter sido o ano com maior crescimento de produção de uvas, com destaque nas áreas do Rio Grande do Sul e no Vale do sub-médio do São Francisco. Houve também um grande aumento na produção de derivados da uva, como sucos e vinhos. O crescimento no consumo de vinhos é devido às empresas vinícolas brasileiras que têm participado de concursos internacionais e vem recebendo atenção nacional e internacional devido a premiação que vem recebendo (Mello, 2022).

Segundo o IBGE, a produção brasileira de uvas em 2023, quando comparadas à produção anterior de 2022, teve aumento de 14,6% e alcançou 1,72 milhões de toneladas. O maior produtor de uvas do país, o Rio Grande do Sul, representou 52,6% da produção brasileira com 904,9 mil toneladas (+23,1%). Já Pernambuco, o segundo maior produtor, registrou um aumento de 10,1%, esse aumento é influenciado pelo perímetro irrigado de Petrolina/PE e Juazeiro/BA. Juntos, Rio Grande do Sul, Pernambuco, São Paulo, Bahia e Santa Catarina concentraram 94,9% da produção nacional (IBGE, 2025). Em 2021 o estado de Minas Gerais obteve aumento de 4,79% na área plantada com videira, atingindo 1.270 ha (Mello, 2022).

Da quantia total de uvas produzidas em solos brasileiros, 51,93% do consumo é feito ao natural, enquanto 48,07% são destinados a uvas para processamentos, como sucos, vinhos e derivados (Mello, 2022). As áreas plantadas de videiras no Brasil tiveram um pequeno crescimento nos últimos anos, na região sudeste do Brasil houve aumento de área no estado de

Minas Gerais, atingindo 1.270 ha, representando 4,79% de aumento de área plantada quando comparado ao ano anterior, 2020 (Mello, 2022).

A crescente busca pelo enoturismo faz com que empresas invistam em vinhos finos ligados ao enoturismo, como é o caso da região Centro-Oeste brasileira. Contudo, empreendimentos recentes vêm se desenvolvendo para comportar estruturas ligadas e esta prática, como Rio de Janeiro, Brasília, Espírito Santo, Chapada Diamantina, dentre outras localidades (Mello, 2022).

As uvas geram grande valor econômico devido ao grande consumo mundial, pois são cultivadas em mais de 90 países, sendo frutas frescas, sucos e vinho. Além disso, a sua grande distribuição geográfica tornou a videira vulnerável a diversos estresses ambientais (Keller, 2015).

2.2 Produção de suco

Produtos alimentares derivados da uva vem crescendo cada vez mais no mercado mundial, confirmando que os consumidores buscam produtos nutracêuticos e palatáveis que as uvas podem oferecer (Cosme *et al.*, 2018). Os sucos integrais são amplamente consumidos nas Américas e na Europa devido ao seu apelo sensorial e aos seus potenciais benefícios à saúde (Hyson, 2015; Di Lorenzo *et al.*, 2015). A origem geográfica, a técnica de processamento, e a variedade genotípica das uvas distinguem a qualidade dos sucos de uva (Margraf, 2016). A produção de sucos de uva apresenta alta atividade antioxidante associada aos compostos fenólicos (Padilha *et al.*, 2018).

Minerais presentes em uvas, como magnésio, cálcio, manganês, ferro, cobre, zinco, silício e enxofre desempenham papéis importantes nos processos biológicos que ajudam a combater o estresse oxidativo que podem acabar gerando doenças como a arteriosclerose e doenças neurodegenerativas. Esses minerais também possuem efeitos antioxidantes e antimutagênicos (Dani *et al.*, 2012). Bebidas à base de uvas, como os sucos e vinhos apresentam compostos fenólicos benéficos à saúde do consumidor, variando conforme a composição química da uva e a técnica de processamento (Dutra *et al.*, 2018). A composição alimentar de bebidas derivadas da uva apresenta altas concentrações fenólicas, composição mineral abundantes, combatem a peroxidação lipídica, confirmando assim o papel dos polifenóis como agentes bioativos que trazem benefícios diretos à saúde humana (Toaldo *et al.*, 2015).

2.3 Aspectos gerais do cultivo da videira

Nos últimos 30 anos, a viticultura vem crescendo exponencialmente no setor econômico e se destacando entre os commodities agrícolas, consolidando-se como um setor global multibilionário. Esse crescimento pode ser atribuído a diversos fatores interligados, como os benefícios à saúde associados ao consumo, devido às propriedades antioxidantes e compostos bioativos, além das políticas econômicas e ambientais voltadas para práticas agrícolas sustentáveis. Além disso, os derivados da uva, como vinhos, impulsionam o setor e consolidam sua relevância no mercado internacional (Daane *et al.*, 2018).

A videira é uma cultura perene de alto valor econômico, destacando-se entre as principais culturas cultivadas no mundo (Suffert *et al.*, 2018). Sua diversidade permite atender a uma ampla gama de mercados, incluindo o consumo in natura e produtos processados, como passas, sucos e vinhos, que agregam ainda mais valor à cultura (Danne *et al.*, 2018).

Atualmente, China, Austrália, Chile, Nova Zelândia, África do Sul e Estados Unidos se consolidaram como os países mais importantes na produção de vinhos no cenário global. Grande parte desse reconhecimento se deve aos esforços de programas de sustentabilidade e consciência ambiental (Li; Bardají, 2017).

Nas últimas décadas, um aumento significativo nas áreas de cultivo de videiras tem sido registrado em diversos países asiáticos, incluindo China, Índia, Japão, Coreia, Tailândia e Indonésia, refletindo o crescente interesse da região pela viticultura (Anderson *et al.*, 2015).

A viticultura demonstra grande capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas, devido ao manejo, estilo de vinhos e localização dos vinhedos. No entanto, ainda são necessárias mais pesquisas que identifiquem as decisões adaptativas de cada espécie (Mosedale *et al.*, 2016).

As alterações climáticas ocorridas ao longo dos anos afetam diretamente a fenologia das videiras. Em algumas regiões do mundo, o ciclo fenológico das videiras está se antecipando, resultando em brotação, floração e colheita mais precoces. Simulações indicam que, até o final do século, essa antecipação pode chegar a quatro semanas. Isso evidencia a necessidade de estratégias adaptativas para lidar com os impactos ambientais (Alikadic *et al.*, 2019).

As mudanças climáticas atuais, com o aumento das temperaturas, deslocam o período de amadurecimento das uvas, impactando a produção de vinhos de alta qualidade. Além disso, a intensificação das secas pode comprometer a qualidade dos vinhos. Nesse contexto, a diversidade genética tem sido considerada um recurso valioso para enfrentar esses desafios (Van Leeuwen *et al.*, 2019).

Um fator estratégico na produção de vinhos é o período fenológico e as variações significativas entre as diferentes variedades. O ciclo fenológico pode oscilar entre três e seis semanas, dependendo da variedade utilizada (Wolkovich *et al.*, 2017).

2.4 Manejo, produção de suco e ciclo de inverno

A produção de uvas resulta da interação entre diversos fatores ambientais que influenciam as práticas de cultivo em diferentes contextos. O clima é o fator mais impactante na escolha das variedades e na qualidade do produto final. O solo, cuja composição é essencial para o desenvolvimento saudável da videira, e a seleção das cultivares são determinantes para conferir características específicas de sabor e aroma. Além disso, práticas de manejo, como poda, irrigação e controle de pragas e doenças, desempenham um papel crucial na maximização da produtividade e qualidade das uvas (Würz *et al.*, 2020).

O solo desempenha serviços ecossistêmicos fundamentais para o desenvolvimento das culturas, fornecendo água, nutrientes e abrigando microrganismos essenciais para as plantas. No entanto, o uso inadequado pode comprometer sua funcionalidade (Smith *et al.*, 2015). Como o solo é um recurso não renovável, garantir boas práticas de manejo é essencial para preservar sua qualidade e a resiliência do ecossistema vitícola, promovendo a renovação dos recursos (Cataldo *et al.*, 2015).

Estudos indicam que o manejo das entrelinhas de um vinhedo afeta diretamente as propriedades do solo e o desenvolvimento das raízes da videira. O manejo alternado entre lavoura e cobertura permanente de grama favorece a incorporação de matéria orgânica, aumentando a densidade radicular e o reforço das raízes. Além disso, práticas humanas como aração profunda, aplicação de fertilizantes, colheita e poda tendem a uniformizar outras propriedades físicas e hidrológicas do solo, independentemente do manejo adotado (Bordoni *et al.*, 2019).

Um vinhedo deve ser planejado com até três anos de antecedência para garantir a qualidade da área plantada. Entre os principais aspectos a serem considerados estão a viabilidade econômica, que avalia a prospecção de mercado, a finalidade das uvas e a possível rentabilidade, além da escolha da área e topografia adequadas (Silveira *et al.*, 2015).

A videira exige diversos tratamentos culturais para garantir seu desenvolvimento e produtividade. No entanto, cada prática deve ser realizada com cautela, pois a resposta da planta varia conforme a finalidade proposta. Além disso, é essencial escolher as técnicas mais adequadas às características da região onde o vinhedo foi implantado, a fim de alcançar as condições ideais no momento da colheita (Marcon Filho *et al.*, 2015). A técnica de propagação

mais utilizada na cultura da videira é a enxertia, que tem se desenvolvido significativamente nos últimos 130 anos devido aos avanços científicos e tecnológicos, incluindo maquinários especializados, tratamentos fitossanitários modernos e insumos químicos e biológicos específicos (Grohs *et al.*, 2017).

Com o crescimento do setor de produção de uvas, estudos apontam que a evolução da mecanização em vinhedos pode contribuir significativamente para tarefas mais trabalhosas, como o manejo do dossel e a colheita, reduzindo custos operacionais (Pezzi *et al.*, 2015).

Para ajustar a colheita a condições climáticas mais favoráveis, alguns vinhedos do Sudeste brasileiro adotam o manejo de dupla poda. Essa técnica direciona o desenvolvimento e a maturação das uvas para o outono-inverno, período que favorece a produção de frutos com maior qualidade e sanidade (Favero *et al.*, 2011).

2.5 Biofortificação de plantas

Pesquisas indicam que até o ano de 2050 a população mundial alcançará nove bilhões de pessoas (Godfray *et al.*, 2010). Com uma população que cresce exponencialmente a cada ano, o mundo muito se atenta com questões relacionadas à segurança alimentar das próximas gerações. Seguindo esta previsão, a produção agrícola mundial precisará, ao menos, duplicar (Henry *et al.*, 2018).

A fome, tão combatida por diversos países ao longo dos anos através de políticas públicas, ainda é uma realidade no mundo atual. Ainda, outro sério problema de saúde pública assombra a humanidade, denominada má nutrição ou fome oculta (Vergutz *et al.*, 2016). A fome oculta se caracteriza pela deficiência de elementos essenciais para o ideal funcionamento do metabolismo humano, em todas suas funções. Atualmente, aproximadamente dois bilhões de pessoas são atingidas pela má nutrição, sobretudo, mulheres grávidas, adolescentes e crianças (Rehman *et al.*, 2018).

O corpo humano necessita de ao menos 49 nutrientes para suprir suas necessidades metabólicas (Oikeh *et al.*, 2003). Para manter o organismo em bom funcionamento, se faz necessária a ingestão diária de cada um destes elementos. Os alimentos mais consumidos do mundo atualmente, possuem quantidades insuficientes de nutrientes capazes de atender as necessidades alimentares da população (Tang *et al.*, 2010). Devido a isso, a biofortificação tende a proporcionar incremento de determinados elementos em alimentos acessíveis à população.

Países vêm adotando, ao longo do tempo, programas com o objetivo de fortificar alimentos, suplementando-os com nutrientes importantes ao organismo humano, como

carboidratos, minerais, vitaminas, proteínas e pigmentos. Neste contexto, a biofortificação agrônômica se mostra uma alternativa eficaz. Ela é compreendida na no manejo de determinada cultura com o objetivo de aumentar teores de minerais na planta (Broadley et al., 2009). Esta prática tende a proporcionar melhor qualidade aos alimentos de forma mais rápida, reduzindo a ocorrência de diversas doenças na população (Cakmak *et al.*, 2008). A biofortificação agrônômica pode ser realizada com adubação via solo, tratamento de sementes e aplicação foliar. Essa prática consiste em uma técnica de menor custo e resultados mais rápidos (Loureiro *et al.*, 2018). A aplicação foliar ou via hidroponia são formas mais eficientes da adoção de micronutrientes visando a biofortificação.

Outra forma de biofortificação genética fundamenta-se no melhoramento genético, que se baseia na seleção ou modificação de genes de espécies vegetais a fim de aumentar o teor de minerais presentes (Cakmak *et al.*, 2007). Esta técnica consiste no cruzamento planejado de plantas com o objetivo de obter uma combinação ideal de genes, promovendo a biodisponibilidade destas substâncias. Desta forma, são selecionadas espécies e/ou variedades mais propícias a armazenar nutrientes e diminuir o armazenamento de componentes antinutricionais (Zulfiqar *et al.*, 2024). Todavia, a biofortificação genética não é capaz de garantir o aumento do teor de determinados nutrientes nas plantas, como o selênio e o iodo, devido à escassez destes elementos nos solos.

Estudos indicam que a associação de ambos os métodos de biofortificação podem potencializar a eficácia de programas, utilizando os vegetais com maior capacidade para absorver e acumular nutrientes juntamente com a adoção da utilização de fertilizantes minerais (Corquinha *et al.*, 2019). Entre as diversas estratégias para o combate à fome oculta, a biofortificação de plantas é apontada como uma das com maior potencial para atingir a população de forma geral, sobretudo em regiões cuja população tenha maior deficiência em certos nutrientes, como países em desenvolvimento (Consensus, 2008).

2.6 Selênio

O selênio é um elemento químico de símbolo ‘Se’, de número atômico 34 e com massa atômica de 78u, sendo encontrado em estado sólido em condições normais de temperatura e pressão. Considerado essencial para o desenvolvimento de organismos animais e vegetais (Rayman *et al.*, 2002), o selênio, geralmente, é encontrado em baixas taxas em solos e alimentos. Foi descoberto em 1817, pelo químico sueco Jons Jakob Berzelius, que nomeou o elemento com inspiração na palavra grega “Selene”, que significa Deusa da Lua (Terry *et al.*, 2000). É um elemento de distribuição altamente variável na superfície terrestre (Who, 1987).

A concentração do selênio na crosta terrestre é considerada baixa, onde o selênio ocupa a 70ª posição. As formas desse elemento que mais são encontradas na natureza são o selenito (SeO_3^{2-}) e selenato (SeO_4^{2-}), entretanto também podem ser encontrados em menores quantidades o selênio na forma elementar (Se_0) e o selênio na forma orgânica (Fordyce, 2007). As rochas magmáticas e calcárias normalmente possuem baixa concentração de selênio, enquanto que as rochas sedimentares apresentam maiores teores, uma vez que ele está mais associado à fração argila (Sharma *et al.*, 2014).

O interesse em estudos a respeito do elemento se intensificou a partir da descoberta de seu papel para as células animais, na década de 1950 (Schwarz; Foltz, 1957). O selênio é um micronutriente humano essencial que envolve vários processos fisiológicos e metabólicos. Este elemento está associado ao fortalecimento do sistema imunológico humano, e sua recomendação média de ingestão para adultos é de 60–70 $\mu\text{g dia}^{-1}$ (Galić *et al.*, 2021; Garousi, 2017). A pequena ingestão de selênio pode acarretar diversas doenças como câncer e hipotireoidismo, além da diminuição da capacidade do sistema imunológico (Ellis; Salt, 2003).

Como estratégia de maximizar a ingestão de selênio por humanos tem-se buscado aumentar seu teor em alimentos consumidos em dietas (White; Broadley, 2009), uma destas formas é justamente aumentar o teor deste nutriente em culturas agrícolas, através de adubação (Graham *et al.*, 2007).

O teor de selênio em plantas está ligado diretamente com a pedologia e gênese nas áreas de cultivo (Anderson *et al.*, 1961), sendo que, em espécies vegetais, este elemento apresenta propriedades semelhantes ao do enxofre, sendo precursor de aminoácidos (Whanger, 2002). O selênio pode ser encontrado em diversos estados de oxidação incluindo selenato, selenito, selênio elementar e seleneto, sendo os dois primeiros de forma mais comum (Casteel; Blodgett, 2004). Alguns estudos indicam que o selênio compete com o fósforo no processo de absorção (Hopper; Parker, 1999).

O selênio presente no solo é resultado do intemperismo, da atividade vulcânica, resíduos e fertilizantes aplicados. Contudo, seu teor é dependente do pH, competição com ânions, óxidos de ferro e tipo de argila (Dhillon; Dhillon, 2003). Em solos alcalinos, é comum a presença de selênio na forma de selenato e em solos ácidos ou próximos à neutralidade, a presença de selênio predomina na forma de selenito. No Brasil, o maior valor de concentração de selênio no solo é observado na região amazônica (Moreda-Piñeiro *et al.*, 2018). No Brasil há relatos de valores entre 0,008 a 1,61 mg kg^{-1} em solos no estado de São Paulo (Gabos; Goldberg; Alleoni, 2014) e de 0,022 a 0,072 mg kg^{-1} em solos do Cerrado (Carvalho *et al.*, 2019). Vários fatores interferem na disponibilidade do selênio no solo, como por exemplo, o pH, o teor de matéria

orgânica, o tipo de argila e o potencial redox (Cartes; Gianfreda; Mora, 2005).

As formas em que o selênio é encontrado no solo influenciam na sua mobilidade e disponibilidade. Ambientes altamente intemperizados podem adsorver selenito reduzindo a sua disponibilidade, adsorção essa que é classificada como específica e pode ocorrer principalmente por óxidos de ferro (hematita e goethita) (Rovira *et al.*, 2008), que são mais ocorrentes em solos com essa característica. Pesquisas com a adsorção de selênio em solos de região tropical relataram que o teor de selênio adsorvido reduziu à medida que aumentou o pH do meio. Quando o pH do solo estava em 3, a adsorção foi de 83% para selenito e 46% para selenato, enquanto que em pH 7 esses valores foram de 59% e 15%, respectivamente (Rovira *et al.*, 2008).

Outro fator que também interfere na adsorção de selênio é a presença de outros íons na solução do solo que podem competir diretamente com ele. O grau de interferência depende, entretanto, da concentração e da interação competitiva entre o selênio e o ânion (Kim *et al.*, 2012). Ânions sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) e fosfato (PO_4^{3-}), que compõem a solução do solo, favorecem a redução na adsorção de selênio, devido à competição pelos sítios de adsorção (Nakamaru; Sekine, 2008). Além disso, quando os ânions se ligam às cargas positivas, cargas negativas são adicionadas à superfície do solo e isso dificulta ainda mais a adsorção dos ânions selenato e selenito, pois aumentam as forças de repulsão eletrostática. Segundo Lessa *et al.* (2016), a retenção de selênio em solos cultivados é menor do que em solos onde não há presença de cultivos, uma vez que solos cultivados tendem a ter maior quantidade de íons competidores pois são solos que podem receber fertilização.

As plantas absorvem o selênio mais facilmente na forma de selenato, devido ao selenito normalmente se ligar ao ferro e formar complexos com a matéria orgânica presente no solo (MALAVOLTA, 1980). Na forma orgânica, é encontrado como metilselenídeos voláteis, íons trimetilselenônio e aminoácidos contendo selênio (Yang *et al.*, 2022). Em sistemas agrícolas, o selênio absorvido pelas plantas pode ser compensado por meio da aplicação de fertilizantes contendo o elemento (Eder; Edelbauer, 2001). A associação de selênio com fertilizantes fosfatados é uma alternativa que pode ser viável para aumentar a concentração desse elemento nas plantas. Na cultura do arroz, Liu *et al.* (2004) conseguiram aumentar a absorção de selênio com a adição de fósforo no solo.

Grande parte dos nutrientes fundamentais aos animais também desempenham funções importantes no metabolismo vegetal. Desta forma, o selênio migrou da categoria de elemento tóxico para elemento essencial (Malavolta, 2006). Assim, a função antioxidante do selênio em vegetais tem como consequência direta, a eliminação de radicais livres, assim como ocorre no

organismo animal. Todavia, a toxicidade em plantas pelo excesso de selênio pode ser observada, sendo comum o atraso no crescimento e clorose nas folhas (Malavolta, 1980).

O selênio possui um papel importante nas reações antioxidantes, dado o aumento da atividade da enzima glutathione peroxidase, responsável pela eliminação de espécies reativas de oxigênio e peróxidos lipídicos, levando as plantas, maior tolerância a estresses abióticos e preservando os lipídeos presentes nas membranas celulares (Andrade *et al.*, 2018).

No Brasil, estudos a respeito da utilização de selênio em plantas ainda se mostram escassos, ainda que a deficiência deste nutriente na população e nos solos brasileiros já tenham sido atestadas. Mostrando que pesquisas relacionadas ao elemento se mostram de altíssimo potencial, seja para biofortificação ou para manejo de culturas.

Dentre as estratégias para aumentar a concentração de Se nas partes comestíveis, a biofortificação genética e agronômica são as mais utilizadas, sendo a biofortificação agronômica mais eficiente para o Se (Galić *et al.*, 2021). A biofortificação agronômica envolve a aplicação de Se por meio de fertilização, visando maior acúmulo na parte comestível da planta (Galić *et al.*, 2021). Vários estudos em diferentes países indicam e justificam a eficiência e a segurança ambiental desse método de enriquecimento nutricional com Se, utilizando diversas culturas para essa finalidade (Silva *et al.*, 2023; Ravello *et al.*, 2021).

A biofortificação agronômica depende de vários fatores que interagem, como método de aplicação, doses, época de aplicação, fontes utilizadas, tipo de solo e espécie vegetal (Galić *et al.*, 2021; Garousi, 2017; Quinet *et al.*, 2019), sendo a aplicação foliar mais eficiente que a fertilização do solo. As principais fontes de Se utilizadas na pulverização foliar agrícola são sais como selenato de sódio e seleneto de sódio. Entretanto, estudos recentes mostraram que o uso de fertilizantes multinutrientes com Se pode aumentar a absorção/redistribuição de Se pelas plantas em comparação com sais de selênio (SILVA *et al.*, 2023).

Em estudo, foi relatado que de todo o selênio presente no solo, menos de 20% está presente nos minerais, enquanto que o selênio presente na matéria orgânica corresponde a mais de 40% do total (Qin *et al.*, 2013). A presença de matéria orgânica no solo favorece o desenvolvimento de microrganismos e estes quando presentes no solo podem facilitar a volatilização de selênio por meio da transformação de formas inorgânicas em formas metiladas como o dimetil-seleneto (DMSe) e dimetil-disseleneto (DMDSe) (Terry *et al.*, 1992). A volatilização, entretanto, ocorre com maior intensidade em locais com temperatura, disponibilidade de água e carbono orgânico disponíveis mais elevados (Bañuelos *et al.*, 2005).

2.7 Iodo

Elemento químico simbolizado pela letra 'I', o iodo possui número atômico 53 e massa atômica 126,9u. Agrupado como halogênio, é encontrado em estado sólido em condições normais de temperatura e pressão. O iodo é um nutriente essencial a animais, no corpo humano é normalmente encontrado na glândula tireoide (Bartoly Rosa; Wasserman; Da Silva, 2019), sendo responsável pela síntese de hormônios essenciais.

O iodo é um dos elementos que se encontra em menor quantidade na superfície terrestre (Irshad *et al.*, 2019). Sendo que sua concentração pode variar positivamente em regiões costeiras, devido à influência marinha (Fuge; Johnson, 2015).

Assim como o selênio, este elemento não é encontrado em grandes concentrações nos alimentos habitualmente presentes em dietas de grande parte da população. No Brasil, é recomendada uma ingestão de 100 a 400mg por dia (Vannucchi *et al.*, 1990). Os transtornos provocados pela ausência deste nutriente é uma preocupação na comunidade internacional. Desde o século passado, diversos países têm utilizado como estratégia para a suplementação de iodo em alimentos a iodação do sal de cozinha. Todavia, a diminuição da ingestão do sal, devido ao aumento de casos de hipertensão na população, expõe a necessidade atual da incorporação de iodo em alimentos (Dunn; Van Der Haar, 1990).

Além da sua utilização na biofortificação de alimentos, o iodo, ainda, pode ser responsável por levar benefícios a espécies vegetais, especialmente quando é aplicado na forma de iodato de potássio (Cakmak *et al.*, 2017). O iodo pode ser absorvido pelas plantas através de raízes ou parte aérea (Kiferle *et al.*, 2021), sendo absorvido através dos estômatos e da camada cuticular (Whitehead, 1984). Após absorvido, o iodo normalmente é encontrado no tecido vegetal em sua forma inorgânica.

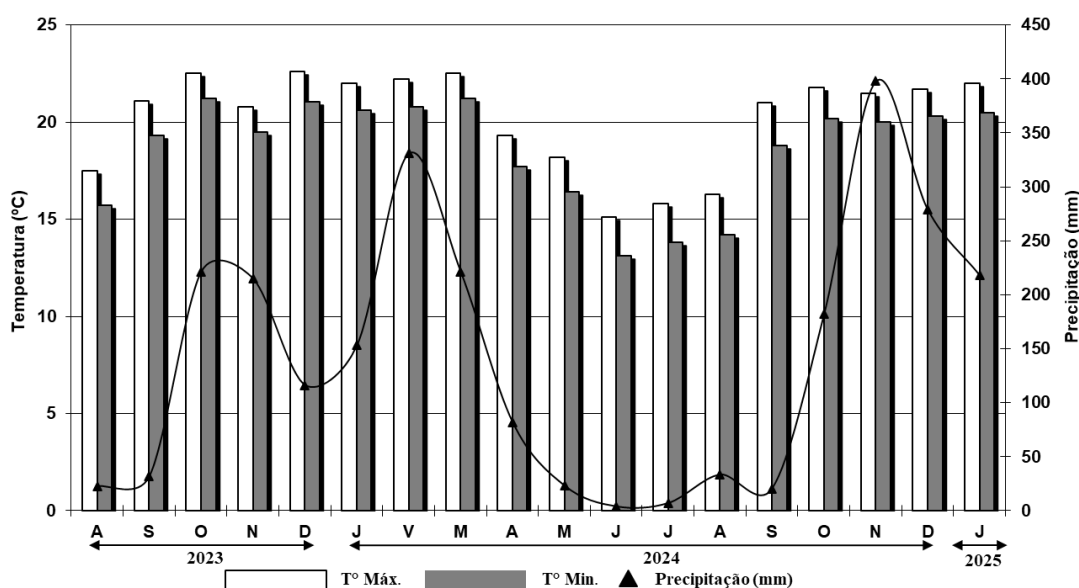
Sendo considerado elemento benéfico, o iodo tem mostrado evidências que pode ser um elemento importante no metabolismo de plantas, aumentando a produção de biomassa, antecipando o florescimento, formando proteínas e desempenhando papel de defesa contra estresses (Kiferle *et al.*, 2021), ou ainda, sendo precursor de antioxidantes (Blasco *et al.*, 2008). Todavia, se absorvido em excesso, pode levar a planta sintomas de fitotoxicidade, como clorose, atrofiamento e necrose de tecidos (Lehr *et al.*, 1958).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em videiras durante a safra de 2023/2024 e 2024/2025 em um vinhedo localizado na EPAMIG Campo Experimental de Caldas, localizado em Caldas-

MG, Brasil (lat 21°55'S, long 46°23'W, 1100 m a.s.l.), com a cultivar “Bordo 16 - Bocaina”. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Cwb, que é caracterizado como subtropical de altitude, com verões amenos e chuvosos e invernos secos e frios (Martins *et al.* 2018), podendo ser observado os dados climatológicos do período experimental na Figura 1.

Figura 1 — Precipitação pluvial e temperatura máxima e mínima no período de aplicação de biofortificação das videiras em avaliação, nas safras 2023/2024 e 2024/2025, Caldas-MG.



Fonte: Do autor (2025).

Para cada ano as doses de selênio e iodo foram divididas em duas aplicações, a primeira aplicação ocorreu no período de pleno florescimento da videira e a segunda aplicação foi feita no período de maturação das bagas. As doses de cada elemento foram fixadas, sendo o de Iodo 300g/ha e a de Selênio 30g/ha.

Os tratamentos foram compostos por diferentes fontes de selênio acompanhadas ou não de iodato de potássio. Os tratamentos foram pulverizadores via foliar, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 — Distribuição dos tratamentos e compostos minerais presentes na biofortificação de uvas e sucos da variedade bordô oriundos dos ciclos produtivos 2023/2024 e 2024/2025 de videiras da variedade ‘Bordô’ biofortificada em Caldas–MG.

Tratamentos	Compostos Minerais
Controle	água (398 ml) + adjuvante (3ml)
2	Selenato de sódio (5 ml) + água (383 ml) + adjuvante (3 ml)
3	Fisiun Se (0,54 ml) + água (397 ml) + adjuvante (3 ml)
4	Nutriduo (10,8 ml) + água (398 ml) + adjuvante (3 ml)
5	Selenato de sódio (5 ml) + iodato de potássio (5 ml) + água (385 ml) + adjuvante (3 ml)
6	Fisium Se + (0,54 ml) iodato de potássio (5ml) + água (385 ml) + adjuvante (3 ml)
7	Nutriduo (10,ml) + iodato de potássio (5ml) + Água (385 ml) + adjuvante (3 ml)

Fonte: Do autor (2025).

Para aplicação dos tratamentos, foi utilizado um pulverizador costal com propulsão por CO₂. O pulverizador utiliza um cilindro de gás para pressurizar o tanque de solução. O CO₂ empurra o reagente através das mangueiras até o bico aspersor, garantindo uma pulverização uniforme e controlada, proporcionando maior eficiência na aplicação e minimizando desperdícios. A dose de calda por planta foi aplicada até o ponto de escorrimento. Para cada unidade experimental, foi utilizada uma garrafa PET com capacidade de 400 mL, contendo cada tratamento.

Antes da aplicação dos tratamentos foram coletadas folhas completas na região entre o segundo e terceiro arame da espaldeira que tinham altura de 1,20 metros e 1,60 metros, respectivamente. As folhas foram acondicionadas em uma estufa com circulação de ar a 45° graus até o peso constante e depois moídas em um moinho do tipo Willey para análise de macro e micronutrientes. Assim como no final das aplicações também houveram a coleta para mesma finalidade.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizados (DBC), com sete tratamentos e quatro blocos, totalizando 28 parcelas. A parcela experimental foi composta por quatro plantas, sendo as duas centrais consideradas como úteis.

Na colheita, inicialmente, foi retirado o sombrite utilizado para proteger os cachos da incidência direta do sol e minimizar danos. A colheita foi feita manualmente, utilizando tesouras de poda, garantindo cortes precisos para preservar a integridade dos cachos. Após a colheita, os cachos foram acondicionados em caixas térmicas adequadas para o transporte até o laboratório do setor de fruticultura, em Lavras. Na etapa seguinte, realizou-se a quantificação das bagas, avaliando-se a quantidade total por cacho. Para a análise da massa das bagas, utilizou-se uma balança de precisão, para a obtenção do peso médio das bagas. No laboratório, foram conduzidas análises físico-químicas para caracterizar as uvas e o suco extraído.

As análises começaram logo após cada colheita, primeiramente foi realizada a análise carpométrica dos frutos de cada tratamento. Para isso, foram medidos os comprimentos transversal e longitudinal com o auxílio de um paquímetro digital, e os resultados foram expressos em milímetros. Após a colheita, foram realizadas análises dos sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável e pH, utilizando amostras obtidas a partir da maceração de 100 bagas por tratamento. A quantificação dos sólidos solúveis totais (SST) foi feita com um refratômetro digital portátil da marca Instrutherm[®], e os resultados foram expressos em °Brix. A acidez total titulável (AT) foi determinada por meio de titulação com NaOH 0,1N, utilizando fenolftaleína a 1% (m/v) como indicador. O ponto final da titulação foi considerado quando o pH atingiu 8,2, sendo os resultados expressos em g.L⁻¹ de ácido tartárico.

A medição do pH do mosto foi realizada com um potenciômetro digital equipado com eletrodo de bancada, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. A quantificação de polifenóis totais foi determinada por espectrofotometria em um Shimadzu UV-1800 (Shimadzu, Kyoto), seguindo a metodologia de Ribéreau-Gayon *et al.* (2006).

A extração do suco foi realizada por uma extratora de suco de arraste a vapor. Esse método permite uma extração eficiente e preservação das características sensoriais do suco, minimizando a exposição excessiva ao calor e reduzindo a necessidade de prensagem mecânica. Além disso, contribui para a inativação de enzimas oxidativas, resultando em um suco de melhor estabilidade e qualidade. Os sucos foram submetidos a análises de acidez titulável, acidez volátil (AV, g de ácido acético por 100 mL), pH, sólidos solúveis (°Brix), razão entre sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT), açúcares totais (g/L) e cinzas (g/L), conforme descrito por Amerine e Ough (1980).

Também foram analisados o teor de antocianina e compostos fenólicos totais dos sucos. Para a extração, uma amostra de 150 mg de suco foi tratada com metanol acidificado (10 mL.L⁻¹ de HCl) em um dispersor Ultra Turrax T-18 basic (IKA, Wilmington, NC, EUA). O extrato obtido foi utilizado para a quantificação de antocianinas e compostos fenólicos totais. A

determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Amerine e Ough (1980).

As amostras de suco foram tratadas com reagente de Folin-Ciocalteu diluído a 10%, seguido da adição de carbonato de sódio a 7,5%. A mistura foi mantida a 50 °C por 5 minutos e a absorbância foi medida a 765 nm em um espectrofotômetro UV-Vis Q-108U (Quimis, São Paulo, Brasil). Os resultados foram expressos como mg de ácido gálico por 100 g de baga ou g de ácido gálico por litro de suco, calculados por interpolação em uma curva de calibração de ácido gálico ($R^2 \geq 0,9998$).

A quantificação de antocianinas foi realizada pelo método diferencial de pH, conforme descrito por Giusti e Wrolstad (2001), utilizando soluções tampão de cloreto de potássio (pH 1,0) e acetato de sódio (pH 4,5). As absorbâncias foram determinadas nos comprimentos de onda de 520 nm e 700 nm, e os resultados foram expressos como mg de malvidina-3-glicosídeo por 100 g de baga ou g de malvidina-3-glicosídeo por litro de suco. Os cálculos consideraram uma massa molecular de $529 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ e um coeficiente de absorção molar de $28000 \text{ L}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$.

As variáveis analisadas atenderam aos pressupostos de normalidade dos erros (Shapiro Wilk), homogeneidade das variâncias (Bartlett's K-squared) e independência dos erros (Durbin-Watson) a 5% de significância. Os dados obtidos foram submetidos a dados de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância e as médias foram comparadas com teste de Tukey à nível de 5% de significância utilizando-se o programa estatístico SISVAR[®] (Sistema de análise de variância para dados balanceados) Versão 5.6 (Ferreira, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2, exibida a seguir, são apresentados os resultados referentes à caracterização das bagas e produção por planta, nos dois anos agrícolas estudados.

Tabela 2 – Comprimento, diâmetro, massa fresca do fruto, número de bagas por cacho cachos oriundos dos ciclos produtivos 2023/2024 e 2024/2025 de videiras da variedade ‘Bordô’ biofortificada em Caldas – MG.

Tratamento	Comprimento (mm)*		Diâmetro (mm)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	16,44 baA	15,84 bA	14,39 bA	14,35 cA
Sel. Na	16,97 abA	15, 51 bB	14,85 bA	14,18 cA
Fisium Se	17,47 abA	16,67 abA	16,33 aA	16,46 aA
Nutriduo	17,34 abA	16,28 abB	16,32 aA	16,12 aA
Sel. Na + Iod. K	16,53 bA	15,81 bA	15,48 abA	14,86 bcA
Fisium Se + Iod. K	18,24 aA	16,77 abB	16,60 aA	14,90 bcB
Nutriduo + Iod. K	18,34 aA	17,34 aB	16,56 aA	15,57 abB
CV (%)	3,81		3,35	
Tratamento	Massa fresca da baga (g)		Número de bagas por Cachos (u)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	2,56 dA	2,57 bA	59,00 bA	45,50 bA
Sel. Na	3,09 bcA	3,12 aA	82,37 abA	60,50 abB
Fisium Se	2,85 cB	3,25 aA	85,62 abA	99,75 aA
Nutriduo	3,35 aA	3,33 aA	99,75 aA	103,75 aA
Sel. Na + Iod. K	3,34 aA	3,33 aA	105,87 aA	111,00 aA
Fisium Se + Iod. K	3,20 abA	3,33 aA	97,00 aA	106,50 aA
Nutriduo + Iod. K	3,30 abA	3,29 aA	94,50 abA	102,00 aA
CV (%)	3,51		26,27	
Tratamento	Produção por Planta (kg/planta)			
	1º ano		2º ano	
Controle	5,21 aA		3,76 aB	
Sel. Na	4,96 abA		3,28 aB	
Fisium Se	5,55 aA		3,40 aB	
Nutriduo	4,96 abA		3,02 aB	
Sel. Na + Iod. K	5,02 abA		2,58 aB	
Fisium Se + Iod. K	3,23 bA		3,86 aA	
Nutriduo + Iod. K	3,97 abA		3,66 aA	
CV (%)	20,34			

(*) médias seguidas pela mesma letra entre a linha e coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2025).

No primeiro ano, os maiores comprimento foram observados nos tratamentos com Nutriduo + Iod. K e Fisium Se + Iod., não diferiram estatisticamente entre si, mas são superiores a outros tratamentos. No segundo ano, o tratamento Nutriduo + Iod. K obteve o maior resultado, embora houvesse redução em relação ao 1º ano. É possível observar uma pequena queda entre em alguns tratamentos do 1º para o 2º ano, especialmente no Sel. Na + Iod. K.

Além disso, no primeiro ano, o diâmetro nos tratamentos Fisium Se, Nutriduo, Fisium Se + Iod. K, Nutriduo + Iod. K apresentaram maiores diâmetros, demonstrando ser significativamente superiores ao tratamento controle além de uma redução geral no diâmetro, com exceção do Fisium Se, que manteve valores estáveis.

Enquanto na massa fresca os melhores resultados do primeiro ano foram com Nutriduo e Sel. Na + Iod. K, que não apresentaram diferença estatística entre si. No segundo ano, Fisium Se, Nutriduo e os tratamentos com iodo mantiveram estáveis a massa elevada. O tratamento controle teve a menor massa nos dois anos avaliados, enquanto no número de bagas por cacho todos os tratamentos foram superiores ao controle nos dois anos. Os tratamentos que mais se destacaram foram Sel. Na + Iod. K e Nutriduo ambos mantiveram produtividade elevada e estável nos dois anos avaliados.

Na produção por planta o tratamento controle teve boa produção no primeiro ano com 5,21 kg, mas caiu no segundo ano com 3,76 kg. O maior valor do segundo ano foi Fisium Se + Iod. K, sendo o único tratamento que teve aumento na produção entre os anos. Outros tratamentos tiveram queda significativa da produção do 1º para o 2º ano. Os resultados obtidos neste estudo diferem dos reportados por Zhao (2021), no qual cultivares de videira apresentaram crescimento discreto ou até mesmo inibido após a aplicação da biofortificação em condições de clima temperado.

Esses contrastes sugerem que a absorção e o aproveitamento do selênio pelas plantas podem ser influenciados significativamente pelas condições climáticas, sendo possivelmente mais eficiente em regiões de clima subtropical, como observado no presente trabalho.

Tabela 3 – pH, Acidez Titulável, sólidos solúveis e Relação sólidos e Acidez oriundos dos ciclos produtivos 2023/2024 e 2024/2025 de videiras da variedade ‘Bordô’ biofortificada em Caldas – MG.

Tratamento	pH		Acidez Titulável Total (g/100g)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	3,67 aA	3,02 aB	1,09 abA	0,97 aB

Sel. Na	3,40 aA	2,92 bB	1,11 abA	0,96 aB
Fisium Se	3,45 aA	2,89 bcB	1,17 abA	0,91 aB
Nutriduo	3,45 aA	2,83 dB	1,37 aA	0,90 aB
Sel. Na + Iod. K	3,75 aA	2,87 cB	1,02 bA	0,96 aB
Fisium Se + Iod. K	3,47 aA	3,00 aB	0,90 bA	1,03 aB
Nutriduo + Iod. K	3,47 aA	2,81 dB	1,01 bA	0,99 aB
CV (%)	4,08		17,06	
Tratamento	Sólidos solúveis totais (°Brix)		Relação Sólidos e acidez (SS/Acidez)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	17,01 aA	15,65 aB	15,75 abA	16,05 aA
Sel. Na	17,25 aA	15,25 aB	15,78 abA	15,91 aA
Fisium Se	17,60 aA	14,45 aB	15,44 abA	15,86 aA
Nutriduo	17,31 aA	15,27 aB	12,63 bB	17,07 aA
Sel. Na + Iod. K	17,05 aA	15,05 aB	16,88 abA	16,27 aA
Fisium Se + Iod. K	17,21 aA	15,22 aB	19,18 aA	15,17 aB
Nutriduo + Iod. K	17,43 aA	14,10 aB	17,23 abA	14,43 aB
CV	4,59		4,59	

(*) médias seguidas pela mesma letra entre a linha e coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2025).

Na tabela 3 observa-se que, no primeiro ano, o pH não houve diferença estatística entre os tratamentos, e, no segundo ano, houve queda em todos os tratamentos, embora o tratamento Fisium Se + Iod. K obtivesse maior valor, não houve diferença estatística entre os demais, indicando estabilidade. A redução do pH nos frutos no segundo ciclo foi consistente em todos os tratamentos possível reflexo de condições ambientais e fisiológicas da planta. A Acidez Titulável no primeiro ano apresenta destaque para o Nutriduo, com acidez mais alta, enquanto os menores valores foram observados em Fisium Se + Iod. K e Nutriduo + Iod. K.

No segundo ano houve uma queda da acidez na maioria dos tratamentos. O tratamento Fisium Se + Iod. K foi o único a obter leve aumento. Os Sólidos Solúveis Totais todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes no 1º ano, não mostrando diferença estatística, enquanto no segundo ano houve redução em todos os tratamentos. Fisium Se + Iod. K e Nutriduo + Iod. K tiveram os menores valores (14,10–15,22). Na Relação Sólidos/Acidez (SS/Acidez), o primeiro ano mostra destaque para o tratamento Fisium Se + Iod. K, por ter apresentado o maior valor no primeiro ano, no segundo ano a maioria dos tratamentos manteve estabilidade, exceto Nutriduo + Iod. K e Fisium Se + Iod. K, que diminuíram significativamente. Embora o tratamento Nutriduo apresentasse alta acidez no primeiro ano, mostrou uma melhora significativa no segundo.

Os resultados mostraram benefícios assim como aos estudos de Zhu (2020) e Zhao (2021), indicando que a aplicação de selênio pode influenciar positivamente os componentes nutricionais dos frutos, aumentando pH, do teor de sólidos solúveis e a concentração de açúcares, reforçando o potencial da biofortificação na qualidade pós-colheita em frutíferas.

Tabela 4 – Valores médios correspondentes à determinação da cor de uvas da variedade ‘Bordô’ biofortificada em Caldas–MG. 2025

Tratamento	<i>L*</i>		<i>a*</i>	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	30,04 bA	13,32 aB	- 0,23 aA	- 0,19 abA
Sel. Na	29,93 bA	14,11 aB	- 0,26 abA	- 0,01 aB
Fisium Se	30,33 abA	8,87 aB	- 0,39 abA	- 0,11 abB
Nutriduo	30,87 abA	8,91 aB	- 0,55 bcdA	- 0,35 Ba
Sel. Na + Iod. K	30,94 abA	8,90 aB	- 0,49 abcA	- 0,31 abB
Fisium Se + Iod. K	31,90 aA	7,79 aB	- 0,83 dA	- 0,28 abB
Nutriduo + Iod. K	30,40 abA	11,24 aB	- 0,75 cdA	- 0,26 abB
CV (%)	10,7		38,33	
Tratamento	<i>b*</i>		<i>c*</i>	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	1,01 aA	1,37 aA	1,44 aA	1,71 aA
Sel. Na	1,52 aA	1,34 aA	1,61 aA	1,35 aA
Fisium Se	1,44 aA	1,31 aB	1,67 aA	1,52 aA
Nutriduo	1,42 aA	1,57 aA	1,70 aA	1,62 aA
Sel. Na + Iod. K	1,44 aA	1,58 aA	1,63 aA	1,62 aA
Fisium Se + Iod. K	0,98 aA	1,46 aA	1,51 aA	1,50 aA
Nutriduo + Iod. K	1,28 AA	1,71 aA	1,72 aA	1,75 aA
CV (%)	26,33		26,63	
Tratamento	<i>h*</i>		Índice de cor	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	126,64 abA	130,20 abA	-1,04 aB	1,19 abA
Sel. Na	102,29 bA	168,36 aA	-0,58 aA	0,26 bA
Fisium Se	113,52 abA	165,27 abA	-0,90 aB	0,94 abA
Nutriduo	119,91 abA	154,95 bA	-1,36 aB	2,66 aA
Sel. Na + Iod. K	113,91 abA	158,12 abA	-1,14 aB	2,30 abA
Fisium Se + Iod. K	135,51 aA	158,87 abA	-2,80 aB	2,46 abA
Nutriduo + Iod. K	130,16 aB	160,69 abA	- 1,97 aB	1,74 abA
CV (%)	4,63			

(*) médias seguidas pela mesma letra entre a linha e coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2025).

Na tabela 4, no quesito luminosidade os Tratamentos com Fisium Se + Iod. K e Sel. Na + Iod. K tiveram frutos mais claros. Já para o segundo ano houve queda de L* em todos os tratamentos, indicando frutos mais escuros no 2º ano. Dos tratamentos avaliados, as maiores reduções foram no tratamento Fisium Se + Iod. e Nutriduo. No componente a, houve destaque principalmente no tratamento Fisium Se + Iod. K que apresentou os valores mais negativos, especialmente no primeiro ano, o que pode sugerir frutos menos avermelhados. O componente b e c apresentaram estabilidade entre os tratamentos, sem diferenças significativas. Enquanto o componente h mostrou que o tratamento Fisium Se + Iod. K (135,51° e 158,87°) e Nutriduo + Iod. K (130,16° e 160,69°) tiveram os ângulos mais altos, apontando serem os mais esverdeados.

Já no índice de cor, a coloração apresentou maiores resultados no segundo ano, indicando melhora na coloração do segundo ciclo, com destaque aos tratamentos Nutriduo, Fisium Se + Iod. K e Sel. Na + Iod. K que tiveram os maiores índices de cor no 2º ano e o tratamento controle apresentou melhora no segundo ano, mas inferior quando comparado aos biofortificados.

Assim como estudos de Zhu (2019), uvas provenientes da biofortificação apresentaram maior saturação, sendo assim mais brilhantes quando comparados a bagas sem aplicação de biofortificação, demonstrando a significância de aplicação da biofortificação.

Tabela 5 – Compostos Fenólicos Totais pelo método Folin-Ciocalteau (mg ácido gálico 100 g¹ бага), Antocianinas Totais (mg 100¹) e extrato seco de uvas da variedade ‘Bordô’ em Caldas — MG. Caldas, 2025.

Tratamento	Folin - Ciocalteau (mg ácido gálico 100 g ¹ бага)		Antocianinas Totais (mg 100 ¹)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	3,46 bcA	3,05 dA	1631,26 bcdA	1534,32 cdB
Sel. Na	4,05 abA	3,80 abcA	1573,42 dA	1440,90 cdB
Fisium Se	4,02 abA	4,02 abA	1578,31 cdA	1446,99 eB
Nutriduo	4,37 aA	3,79 abcB	1664,00 bcA	1499,70 deB
Sel. Na + Iod. K	4,63 aA	4,27 aA	1696,83 bA	1576,16 bcB
Fisium Se + Iod. K	4,02 abA	3,43 bcdB	2185,32 aA	2079,83 aB
Nutriduo + Iod. K	3,15 cA	3,34 cdA	17,18,88 bA	1627,66 bB
CV (%)	8,16		2,00	
Tratamento	Extrato seco			
	1º ano		2º ano	
Controle	131,48 dA		66,20 cB	
Sel. Na	135,63 bcA		143,20 bA	
Fisium Se	134,81 cdA		146,80 bA	

Nutriduo	132,11 cdA	165,52 aA
Sel. Na + Iod. K	168,08 aA	164,96 aA
Fisium Se + Iod. K	143,72 bA	140,51 bA
Nutriduo + Iod. K	141,12 bA	75,23 cB
CV (%)	4,45	

(*) médias seguidas pela mesma letra entre a linha e coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2025).

Os Compostos Fenólicos Totais pelo método de Folin-Ciocalteu, retratados na tabela 4, obtiveram no primeiro ano maior valor com os tratamentos Sel. Na + Iod. K e Nutriduo e seu menor valor com Nutriduo + Iod. K. No segundo ano, os tratamentos que tiveram maior destaque foram Sel. Na + Iod. K e Fisium Se, houve também queda geral nos teores do segundo ano, porém o tratamento que manteve o nível elevado foi o Sel. Na + Iod. K.

As Antocianinas Totais mostraram que no primeiro ano o Fisium Se + Iod. K foi significativamente superior aos demais, enquanto no segundo ano, embora houvesse uma pequena redução quando comparada ao ano anterior, manteve destaque dos demais tratamentos. O Extrato Seco apresentou no primeiro ano que o tratamento Sel. Na + Iod. K foi o que obteve a maior alta e estabilidade nos dois anos. No segundo ano o Sel. Na + Iod. K (164,96) mantiveram os maiores valores. O tratamento controle apresentou os menores valores nos dois ciclos, porém no segundo ano teve uma queda considerável. De forma semelhante ao observado neste estudo com videiras, a biofortificação promoveu aumento significativo nos teores de antioxidantes, compostos fenólicos e antocianinas em romãs, conforme relatado por Mezei (2025).

Tabela 6 — pH, acidez titulável, sólidos solúveis (SS expresso em °Brix) e relação SS/Acidez, de sucos biofortificados oriundos dos ciclos produtivos 2023/2024 e 2024/2025 de sucos da variedade ‘Bordo’ biofortificada em Caldas – MG. Caldas, 2025.

Tratamento	pH		Acidez Titulável Total (g/100g)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	3,67 aA	3,04 a	0,47 dA	1,16 a
Sel. Na	3,40 aA	3,00 a	0,82 cA	1,26 a
Fisium Se	3,45 aA	2,91 a	0,60 dA	1,20 a
Nutriduo	3,45 aA	2,89 a	1,37 aA	1,18 a
Sel. Na + Iod. K	3,75 aA	3,09 a	1,02 bAA	1,05 a
Fisium Se + Iod. K	3,47 aA	2,82 a	0,90 bcA	1,13 a
Nutriduo + Iod. K	3,47 aA	2,62 a	1,01 bcA	1,15 a
CV(%)	3,55		4,69	

Tratamento	Sólidos solúveis totais (°Brix)		Relação Sólidos e acidez (SS/Acidez)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	12,65 ab	9,97 c	26,97 a	10,29 a
Sel. Na	12,07 ab	10,55 b	14,76 de	9,46 a
Fisium Se	12,80 b	9,60 e	21,19 b	9,04 a
Nutriduo	12,10 ab	9,80 d	8,83 e	9,43 a
Sel. Na + Iod. K	11,70 b	9,20 f	11,51 e	9,73 a
Fisium Se + Iod. K	15,52 a	10,70 a	17,31 c	10,23 a
Nutriduo + Iod. K	12,65 ab	10,67 a	12,49 e	10,69 a
CV(%)	3,69		2,50	

(*) médias seguidas pela mesma letra entre a linha e coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2025).

Na tabela 6 observa-se que não houve diferença estatística entre tratamentos ou anos, indicando estabilidade no pH dos sucos entre os ciclos e tratamentos. Na Acidez titulável o tratamento com maior valor foi o Nutriduo e Sel. Na + Iod. K no primeiro ano, enquanto no segundo ano todos os tratamentos apresentaram aumento na acidez, embora não houvesse diferença estatística entre eles. Enquanto nos Sólidos Solúveis o tratamento que apresentou maior valor no primeiro ano foi o Fisium Se + Iod. K, no segundo ano o °Brix caiu significativamente para quase todos os tratamentos, indicando que o segundo ano teve um menor acúmulo de açúcar devido às condições climáticas ou fisiológicas. Já a Relação SS/Acidez o tratamento Controle teve o melhor balanço no primeiro ano. Dentre os anos avaliados, o primeiro ano mostrou ser o mais equilibrado.

De acordo com os resultados obtidos por Mezey (2019), que observou em frutíferas de clima temperado, um aumento nos valores de pH em resposta à biofortificação via aplicação foliar. Resultados semelhantes também foram relatados por Ren (2025), cujo trabalho com suplementação foliar de manganês promoveu elevações significativas no pH, no teor de sólidos solúveis e na concentração de açúcares das frutas.

Tabela 7 — Valores médios correspondentes à determinação da cor de sucos biofortificados oriundos dos ciclos produtivos 2023/2024 e 2024/2025 de sucos da variedade ‘Bordô’ biofortificada em Caldas–MG.

Tratamento	<i>L</i> *		<i>a</i> *	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	16,56 a	2,95 d	- 0,23 a	2,80 a
Sel. Na	17,13 a	18,12 a	- 0,23 a	2,42 ab
Fisium Se	16,56 a	16,16 ab	- 0,26 a	1,62 bc

Nutriduo	15,09 a	13,23 abc	- 0,20 a	1,79 bc
Sel. Na + Iod. K	16,04 a	8,84 c	- 0,19 a	2,94 a
Fisium Se + Iod. K	15,21 a	11,74 bc	- 0,25 a	0,92 c
Nutriduo + Iod. K	15,79 a	14,75 ab	- 0,29 a	1,20 bc
CV (%)	6,68		5,23	
Tratamento	b*		c*	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	2,23 a	2,92 a	2,31 a	7,02 a
Sel. Na	1,98 a	2,81 a	2,04 a	3,41 b
Fisium Se	1,84 a	2,73 a	1,96 a	3,09 b
Nutriduo	1,05 b	2,94 a	1,06 b	3,93 b
Sel. Na + Iod. K	1,01 b	2,95 a	1,06 b	5,68 a
Fisium Se + Iod. K	1,21 b	2,89 a	1,24 b	2,80 b
Nutriduo + Iod. K	0,89 b	2, 72 a	0,95 b	3,18 b
CV (%)	8,36		9,06	
Tratamento	h*		Índice de cor	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	97,73 a	103,39 a	-0,636 bcA	-5,671 cB
Sel. Na	97,12 a	115,13 a	-0,708 bcA	-5,574 cB
Fisium Se	98,64 a	101,72 a	-0,815 cA	-3,820 bB
Nutriduo	98,64 a	94,19 a	-0,137 bA	-3,165 bB
Sel. Na + Iod. K	90,86 ab	100,61 a	0,264 bA	-7,384 dB
Fisium Se + Iod. K	101,71 a	89,30 a	-1,389 dA	-3,493 bB
Nutriduo + Iod. K	72,02 b	92,58 a	2,095 aA	-2,778 aB
CV (%)	4,63		26,68	

(*) médias seguidas pela mesma letra entre a linha e coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2025).

Houve alterações visuais significativas na coloração dos sucos entre os anos, com aumento na intensidade da cor c e do componente b no 2º ano. O tratamento “Sel. Na + Iod. K” teve o suco mais escuro no 2º ano, mas também o menor índice de cor. “Nutriduo + Iod. K” se destacou com o índice de cor mais alto no 1º ano e menor queda no 2º, mantendo coloração mais estável e intensa. O aumento da coloração vermelha (a*) no 2º ano pode estar relacionado à degradação de antocianinas ou reações enzimáticas durante o processamento.

Conforme observou D’Amato (2020), diferenças significativas na qualidade da fruta a partir da suplementação com selênio via pulverização foliar, destacando melhorias tanto na qualidade nutricional quanto nas características do produto final.

Tabela 8 — Compostos Fenólicos Totais pelo método Folin-Ciocalteu (mg ácido gálico 100 g¹ бага), Antocianinas Totais (mg 100¹) e extrato seco de sucos da variedade ‘Bordô’ em

Caldas – MG.

Tratamento	Folin		Antocianina (mm)	
	1º ano	2º ano	1º ano	2º ano
Controle	2,88 bcA	3,05 bcA	1405,83 cdA	1198,21 dB
Sel. Na	2,71 Cb	3,90 abca	1331,38 eA	1138,78 Db
Fisium Se	2,83 bcB	4,54 abA	1353,41 deA	1193,71 dB
Nutriduo	2,83 bcB	4,23 abcA	1449,01 bcA	1371,61 bA
Sel. Na + Iod. K	2,90 bB	3,08 bcA	1471,91 bcB	1285,52 cA
Fisium Se + Iod. K	3,44 Ab	4,67 aA	1972,84 aA	1778,58 Ab
Nutriduo + Iod. K	2,91 baA	2,86 cA	1518,61 bA	1335,81 bcB
CV (%)	5,60		4,78	

Tratamento	Extrato seco	
	1º ano	2º ano
Controle	130,67 bcA	131,13 bcA
Sel. Na	118,83 cBA	128,33 cA
Fisium Se	126,59 bcB	136,29 bcA
Nutriduo	131,11 bcA	136,56 bcA
Sel. Na + Iod. K	127,05 bcB	137,26 bcA
Fisium Se + Iod. K	156,80 bA	165,40 aA
Nutriduo + Iod. K	135,07 bB	159,70 bA
CV (%)	10,28	

(*) médias seguidas pela mesma letra entre a linha e coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2025).

Na tabela 8, o método de Folin-Ciocalteu em sucos mostrou que nos dois anos o tratamento Fisium Se + Iod. K se destacou dos demais tratamentos, assim todos os tratamentos apresentaram aumento significativo de um ano para outro, destacando o Fisium Se + Iod. K que manteve a estabilidade nos dois ciclos. As antocianinas mostraram que em ambos os anos avaliados o tratamento Fisium Se + Iod. K foi o que mais se destacou, além de no segundo ano a maioria dos tratamentos teve redução nos valores, exceto o tratamento Nutriduo que manteve os valores próximos.

O parâmetro Extrato seco total mostra que houve aumento dos valores no segundo ano, com destaque aos tratamentos Fisium Se + Iod. K e Nutriduo + Iod. K, sugerindo que o segundo ano obteve a maior concentração de sólidos nos sucos.

Reforçando os resultados positivos com a biofortificação em videiras, um estudo com

suco de romã, Zahedi (2019) demonstrou que a biofortificação com selênio promove impactos significativos nos teores de compostos químicos da fruta, como antocianinas, compostos fenólicos e açúcares, além de influenciar positivamente a qualidade e o estado nutricional do fruto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biofortificação da uva 'Bordô' com diferentes compostos minerais influenciou significativamente a qualidade físico-química e funcional dos frutos e sucos ao longo dos dois ciclos produtivos avaliados (2023/2024 e 2024/2025), no município de Caldas – MG. Os tratamentos com adição de iodato de potássio (Iod. K) combinados com fontes de selênio se destacaram frente ao controle.

O tratamento com Fisium Se + Iod. K apresentou os maiores teores de compostos fenólicos totais e antocianinas tanto nas bagas quanto nos sucos, além de um extrato seco superior, indicando maior concentração de sólidos e compostos bioativos. Este tratamento também proporcionou sucos com características de cor mais intensas e valores expressivos de índice de cor, confirmando a efetividade da biofortificação na intensificação dos atributos visuais e funcionais do produto final.

Apesar de algumas variações sazonais nos parâmetros físico-químicos, como pH, acidez e sólidos solúveis, os tratamentos biofortificados com Nutriduo + Iod. K e Sel. Na + Iod. K também apresentaram desempenho satisfatório, com melhora nos índices de cor e composição química, reforçando a importância da suplementação combinada para o desenvolvimento de sucos com maior valor nutricional.

Portanto, os dados evidenciam que a biofortificação com selênio e iodo, especialmente via Fisium Se + Iod. K, representa uma estratégia promissora para o enriquecimento funcional de uvas 'Bordô' e seus derivados em regiões subtropicais, sem prejuízo às características físico-químicas essenciais. Tais resultados contribuem para o avanço na produção de alimentos funcionais e oferecem alternativas para agregação de valor à vitivinicultura regional.

REFERÊNCIAS

- ALIKADIC, A. *et al.* The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: a regional study. **Agricultural And Forest Meteorology**, [S.L.], v. 271, p. 73-82, jun. 2019. Elsevier BV.
- ANDERSON, Kym; WITTWER, Glyn. Asia's evolving role in global wine markets. **China Economic Review**, [S.L.], v. 35, p. 1-14, set. 2015. Elsevier BV.
- ANDERSON, Myron Saltee. **Selenium in agriculture**. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1961.
- ANDRADE, R. F. *et al.* Selenium protects rice plants from water deficit stress. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 164, p. 562-570, nov. 2018. Elsevier BV.
- BAÑUELOS, G.s. *et al.* Selenium volatilization in vegetated agricultural drainage sediment from the San Luis Drain, Central California. **Chemosphere**, [S.L.], v. 60, n. 9, p. 1203-1213, set. 2005. Elsevier BV.
- BLASCO, B.*et al.* Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. **Annals Of Applied Biology**, [S.L.], v. 152, n. 3, p. 289-299, 5 mar. 2008. Wiley.
- BORDONI, M.*et al.* Effects of vineyard soil management on the characteristics of soils and roots in the lower Oltrepò Apennines (Lombardy, Italy). **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 693, p. 133390, nov. 2019. Elsevier BV.
- BROADLEY, R. M. *et al.* Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. **Plant And Soil**, [S.L.], v. 332, n. 1-2, p. 5-18, 2 dez. 2009. Springer Science and Business Media LLC.
- CAKMAK, I. *et al.* Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. **Plant And Soil**, [S.L.], v. 418, n. 1-2, p. 319-335, 6 jun. 2017. Springer Science and Business Media LLC.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. **Plant And Soil**, [S.L.], v. 302, n. 1-2, p. 1-17, 28 nov. 2007. Springer Science and Business Media LLC.
- CARTES, P.; GIANFREDA, L.; MORA, M.L.. Uptake of Selenium and its Antioxidant Activity in Ryegrass When Applied as Selenate and Selenite Forms. **Plant And Soil**, [S.L.], v. 276, n. 1-2, p. 359-367, out. 2005. Springer Science and Business Media LLC.
- CARVALHO, G. S. *et al.* Selenium and mercury in Brazilian Cerrado soils and their relationships with physical and chemical soil characteristics. **Chemosphere**, [S.L.], v. 218, p. 412-415, mar. 2019. Elsevier BV.
- CASTEEL, S. W.; BLODGETT, D. J. Selenium. Metals and minerals. **Clinical veterinary toxicology**. Missouri: Mosby Incorporation St. Louis, p. 214-7, 2004.
- CATALDO, E.; FUCILE, M.; MATTII, B. G.. A Review: soil management, sustainable strategies and approaches to improve the quality of modern viticulture. **Agronomy**, [S.L.], v.

11, n. 11, p. 2359, 21 nov. 2021. MDPI AG.

COPELLO, M. Anuário Vinhos do Brasil-Wines of Brasil Yearbook: panorama regiões, castas, enoturismo, produtores e dados do setor. **Baco, Porto Alegre**, 2015.

COSME, F.; PINTO, T.; VILELA, A.. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Grape Juices: a chemical and sensory view. **Beverages**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 22, 6 mar. 2018. MDPI AG.

DAANE, M. K. *et al.*. Entomological Opportunities and Challenges for Sustainable Viticulture in a Global Market. **Annual Review Of Entomology**, [S.L.], v. 63, n. 1, p. 193-214, 7 jan. 2018. Annual Reviews.

D'AMATO, R. *et al.* Current Knowledge on Selenium Biofortification to Improve the Nutraceutical Profile of Food: a comprehensive review. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, [S.L.], v. 68, n. 14, p. 4075-4097, 17 mar. 2020. American Chemical Society (ACS).

DANI, C. *et al.* Mineral content is related to antioxidant and antimutagenic properties of grape juice. **Genetics And Molecular Research**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 3154-3163, 2012. Genetics and Molecular Research.

DHILLON, K.S.; DHILLON, S.K. Distribution and management of seleniferous soils. **Advances in Agronomy**, v. 79, p. 119-184, 2003.

DUNN J. T., VAN DER HAAR F. **A practical guide to the correction of iodine deficiency Wageningen**: International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders; 1990.

DUTRA, Maria da Conceição Prudêncio; RODRIGUES, Lucicleide Leonice; OLIVEIRA, Débora de; PEREIRA, Giuliano Elias; LIMA, Marcos dos Santos. Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: validation of a method for determination of cu, fe and mn. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 269, p. 157-165, dez. 2018. Elsevier BV.

EDER, G.; EDELBAUER, A. Influence of different fertilizing measures in grassland on the selenium content in soil and plants. **Die Bodenkultur**, v. 52, n. 3, p. 209–214, 2001.

ELLIS, D. R.; SALT, D. E. **Plants, selenium and human health**. Current opinion in plant bio-logy, v. 6, n. 3, p. 273-279, 2003.

FAVERO, A. C. *et al.* **Double-pruning of ‘Syrah’ grapevines**: a management strategy to harvest wine grapes during the winter in the Brazilian Southeast. *Vitis*, 50(4):151-158, 2011.

FORDYCE, F. **Selenium geochemistry and health**. *Ambio*, v. 36, n. 1, p. 94–97, 2007.

FUGE, Ron; JOHNSON, Christopher C.. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. **Applied Geochemistry**, [S.L.], v. 63, p. 282-302, dez. 2015. Elsevier BV.

GALIĆ, Lucija; VINKOVIĆ, Tomislav; RAVNJAK, Boris; LONČARIĆ, Zdenko. Agronomic Biofortification of Significant Cereal Crops with Selenium—A Review. **Agronomy**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1015, 20 maio 2021. MDPI AG.

GAROUSI, F.. The essentiality of selenium for humans, animals, and plants, and the role of selenium in plant metabolism and physiology. **Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 75-90, 1 out. 2017. Universitatea Sapientia din municipiul Cluj-Napoca.

GODFRAY, H. Charles J.; BEDDINGTON, John R.; CRUTE, Ian R.; HADDAD, Lawrence; LAWRENCE, David; MUIR, James F.; PRETTY, Jules; ROBINSON, Sherman; THOMAS, Sandy M.; TOULMIN, Camilla. Food Security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, [S.L.], v. 327, n. 5967, p. 812-818, 12 fev. 2010. American Association for the Advancement of Science (AAAS).

GRAHAM, Robin D. *et al.* Nutritious Subsistence Food Systems. **Advances In Agronomy**, [S.L.], p. 1-74, 2007.

GROHS, S. D. *et al.* ADVANCES IN PROPAGATION OF GRAPEVINE IN THE WORLD. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 1-15, 4 dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO).

HENRY, R. C. *et al.* D. A.. Food supply and bioenergy production within the global cropland planetary boundary. **Plos One**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 1-17, 22 mar. 2018. Public Library of Science (PLoS).

HOPPER, J. & PARKER, D. **Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate**. *Plant Soil*, 210:199-207, 1999.

HYSON, D. A Review and Critical Analysis of the Scientific Literature Related to 100% Fruit Juice and Human Health. **Advances In Nutrition**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 37-51, jan. 2015. Elsevier BV.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola**. Disponível em:

https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2023/estProdAgri_202311.pdf.

Acesso em: 02 jan 2025.

IRSHAD, M. *et al.*. Leachability of iodine from soils of different land uses as affected by selected amendments. **Environmental Engineering And Management Journal**, [S.L.], v. 18, n. 9, p. 2095-2103, 2019. OAIMDD - EcoZone Publishing House.

KELLER, M. **The science of grapevines: anatomy and physiology**. 3. ed. Washington: Academic Press An Imprint Of Elsevier, 2015. 542 p.

KIFERLE, C. *et al.* Pierdomenico. Evidences for a Nutritional Role of Iodine in Plants. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 12, p. 1-18, 17 fev. 2021. Frontiers Media SA.

LEHR, J. J.; WYBENGA, J. M.; ROSANOW, M.. Iodine as a Micronutrient for Tomatoes. **Plant Physiology**, [S.L.], v. 33, n. 6, p. 421-427, 1 nov. 1958. Oxford University Press (OUP).

LERNOUD, J., & WILLER, H. (2015). Organic agriculture worldwide: Current statistics. In H. Willer, & J. Lernooud (Eds.), *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends*. **FiBL-IFOAM report**. (pp. 102–103). Frick and Bonn.

LESSA, J.H.L. *et al.* Adsorption-desorption reactions of selenium (VI) in tropical cultivated and uncultivated soils under Cerrado biome. **Chemosphere**, [S.L.], v. 164, p. 271-277, dez. 2016. Elsevier BV.

LI, Y.; BARDAJÍ, I. Adapting the wine industry in China to climate change: challenges and opportunities. **Oeno One**, [S.L.], v. 51, n. 2, p. 71, 15 maio 2017. Universite de Bordeaux.

LIU, Q. *et al.* Effects of the interaction between selenium and phosphorus on the growth and selenium accumulation in rice (*Oryza sativa*). **Environmental Geochemistry and Health**, v. 26, p. 325–330, 2004.

LOUREIRO, M. P. *et al.* **Segurança Alimentar e Nutricional**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 66-84, 2 ago. 2018. Universidade Estadual de Campinas.

MALAVOLTA, E. Selênio. In: **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Ed. Agronômica Ceres, 1980. P. 211-212.

MALAVOLTA, E. Selênio. In: **Manual de nutrição mineral de plantas**. Ed. Agronômica Ceres, 2006. p. 396-401.

MARCON FILHO, J. L. *et al.* Raleio de cachos sobre o potencial enológico da uva 'Cabernet Franc' em duas safras. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 45, n. 12, p. 2150-2156, 18 set. 2015. FapUNIFESP (SciELO).

MARGRAF, T. *et al.* Effects of geographical origin, variety and farming system on the chemical markers and in vitro antioxidant capacity of Brazilian purple grape juices. **Food Research International**, [S.L.], v. 82, p. 145-155, abr. 2016. Elsevier BV.

MARTINS, F. B. *et al.* CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E DE THORNTHWAITTE PARA MINAS GERAIS: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 1, p. 129-156, 8 nov. 2018. ABClima (Brazilian Association of Climatology).

MELLO, L. M. R. de. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2021**. Comunicado Técnico, Bento Gonçalves, n. 226, p. 1-617, 2022.

MEZEY J. *et al.* Foliar Selenium Biofortification in Temperate Fruit Crops: impact on selenium accumulation and nutritional quality of fruits and juices. **Beverages**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 53, 18 abr. 2025.

MIOTTO, L. C V. *et al.* Agronomic evaluation of 'Bordô' grapevine (Ives) clones. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 71, n. 6, p. 458-463, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

MOREDA-PIÑEIRO, J. *et al.* Selenium species determination in foods harvested in Seleniferous soils by HPLC-ICP-MS after enzymatic hydrolysis assisted by pressurization and microwave energy. **Food Research International**, [S.L.], v. 111, p. 621-630, set. 2018. Elsevier BV.

MOSEDALE, J. R. *et al.* Climate change impacts and adaptive strategies: lessons from the grapevine. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 22, n. 11, p. 3814-3828, 30 jul. 2016. Wiley.

NAKAMARU, Y. M.; SEKINE, K.. Sorption behavior of selenium and antimony in soils as a function of phosphate ion concentration. **Soil Science And Plant Nutrition**, [S.L.], v. 54, n. 3, p. 332-341, jun. 2008. Informa UK Limited.

OIKEH, S.O. *et al.* Assessment of concentrations of iron and zinc and bioavailable iron in grains of earlymaturing tropical maize varieties. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, 2003. v.51,p.3688- 3694.

PADILHA, C. V. S. *et al.* Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: method validation and characterization of commercial products of the new brazilian varieties of grape. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 228, p. 106-115, ago. 2017. Elsevier BV.

PEZZI, F.; MARTELLI, R.. Technical and Economic Evaluation of Mechanical Grape Harvesting in Flat and Hill Vineyards. **Transactions Of The Asabe**, [S.L.], p. 297-303, 13 abr. 2015. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

QIN, H.. *et al.* The bioavailability of selenium and risk assessment for human selenium poisoning in high-Se areas, China. **Environment International**, [S.L.], v. 52, p. 66-74, fev. 2013. Elsevier BV.

QUINET, M. *et al.* Tomato Fruit Development and Metabolism. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 10, p. 1-23, 29 nov. 2019. Frontiers Media SA.

RAVELLO, R. A. V. *et al.* Selenium application influenced selenium biofortification and physiological traits in water-deficit common bean plants. **Crop And Pasture Science**, [S.L.], v. 73, n. 2, p. 44-55, 16 jul. 2021. CSIRO Publishing.

REN, R. *et al.* Manganese biofortification in grapevine by foliar spraying improves volatile profiles of Cabernet Sauvignon grapes and wine sensory traits. **Food Chemistry: X**, [S.L.], v. 25, p. 102150, jan. 2025. Elsevier BV.

RAYMAN, M.P. The argument for increasing selenium intake. **Proceedings of the Nutrition Society.**, 61:203-215, 2002.

REHMAN, H. M. *et al.* Legume biofortification is an underexploited strategy for combatting hidden hunger. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 52-70, 13 ago. 2018. Wiley.

ROSA, F. B. B. *et al.* Estudo dos principais indicadores edafológicos da transferência solo-planta para o iodo. **Brazilian Journal Of Radiation Sciences**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 1-24, 4 set. 2018. Sociedade Brasileira de Protecao Radiologica - SBPR.

ROVIRA, M. *et al.* Sorption of selenium(IV) and selenium(VI) onto natural iron oxides: goethite and hematite. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 150, n. 2, p. 279-284, 31 jan. 2008.

SCHWARZ, K.; FOLTZ, C. M.. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. **Journal Of The American Chemical Society**, [S.L.], v. 79, n. 12, p. 3292-3293, jun. 1957. American Chemical Society (ACS).

SHARMA, V. K. *et al.* Biogeochemistry of selenium. A review. **Environmental Chemistry Letters**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 49-58, 4 nov. 2014. Springer Science and Business Media LLC.

SILVA, M. A. *et al.* Foliar Application of Selenium Associated with a Multi-Nutrient Fertilizer in Soybean: yield, grain quality, and critical se threshold. **Plants**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 2028, 18 maio 2023. MDPI AG.

SILVA, V. M. **Characterization of genotype variation and agronomic biofortification of cowpea with selenium: impacts on phytic acid and nutritional quality of grains**, 2019.

SILVEIRA, S. V. da; HOFFMANN, A.; GARRIDO, L. da R.; (Ed.). *Produção integrada de uva para processamento: implantação do vinhedo, cultivares e manejo da planta*. **Brasília, DF: Embrapa**, 2015. v. 3 cap. 2, p. 24-39.

SMITH, P. *et al.* Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. **Soil**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 665-685, 19 nov. 2015. Copernicus GmbH.

SUFFERT, M. *et al.* Identification of new pests likely to be introduced into Europe with the fruit trade. **Eppo Bulletin**, [S.L.], v. 48, n. 1, p. 144-154, abr. 2018. Wiley.

TANG, G. *et al.* **The American Journal Of Clinical Nutrition**, [S.L.], v. 89, n. 6, p. 1776-1783, jun. 2009. Elsevier BV.

TERRY, N. *et al.* Rates of Selenium volatilization among crop species. **Journal of Environmental Quality**, v. 21, p. 341-344, 1992.

TERRY, N.; ZAYED, A. M.; SOUZA, M. P. de; TARUN, A. S.. Selenium in higher plants. **Annual Review Of Plant Physiology And Plant Molecular Biology**, [S.L.], v. 51, n. 1, p. 401-432, jun. 2000. Annual Reviews.

TOALDO, I. M. *et al.* Bioactive potential of *Vitis labrusca* L. grape juices from the Southern Region of Brazil: phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 173, p. 527-535, abr. 2015. Elsevier BV.

VAN LEEUWEN, C. *et al.* An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations. **Agronomy**, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 514, 5 set. 2019. MDPI AG.

VANNUCCHI, H. *et al.* Aplicações das recomendações nutricionais adaptadas à população brasileira. In: **Aplicações das recomendações nutricionais adaptadas à população brasileira**. 1990. p. 155-155.

VERGÜTZ, L. *et al.* Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. Boletim da SBCE. **A biofortificação em debate**, vol. 42, n. 2, 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**, [S.L.], v. 182, n. 1, p. 49-84, 15 jan. 2009. Wiley.

WHITEHEAD, D. C. (1984). The distribution and transformations of iodine in the environment. **Environ. Intern.** 10, 321–339.

WOLKOVICH, E. M. *et al.* Phenological diversity provides opportunities for climate change adaptation in winegrapes. **Journal Of Ecology**, [S.L.], v. 105, n. 4, p. 905-912, 19 jun. 2017. Wiley.

WURZ, D. A. *et al.* New wine-growing regions of Brazil and their importance in the evolution of Brazilian wine. **Bio Web Of Conferences**, [S.L.], v. 9, p. 01025, 2017. EDP Sciences.

WÜRZ, D. A. *et al.* Potencial do cultivo de videiras destinadas a elaboração de suco de uva em Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. **Revista Eletrônica Científica da Uergs**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 176-183, 23 out. 2020. Revista Eletronica Cientifica da UERGS.

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**, [S.L.], v. 422, p. 126876, jan. 2022. Elsevier BV.

ZAHEDI, S. *et al.* Foliar application of selenium and nano-selenium affects pomegranate (*Punica granatum* cv. Malase Saveh) fruit yield and quality. **South African Journal Of Botany**, [S.L.], v. 124, p. 350-358, ago. 2019. Elsevier BV.

ZHAO, H. *et al.* Biofortification with selenium and lithium improves nutraceutical properties of major winery grapes in the Midwestern United States. **International Journal Of Food Science & Technology**, [S.L.], v. 56, n. 2, p. 825-837, set. 2020. Oxford University Press (OUP).

ZHU, S. *et al.* Response of fruit quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) to foliar selenium fertilizer under different cultivation microclimates. **European Journal Of Horticultural Science**, [S.L.], v. 84, n. 6, p. 332-342, 29 dez. 2019.

ZHU, S. *et al.* 1-Methylcyclopropene on Fruit Quality of Se-Enriched Grape (*Vitis vinifera* L.) during Shelf Life Period. **Agronomy**, [S.L.], v. 10, n. 9, p. 1411, 17 set. 2020. MDPI AG.

ZULFIQAR, U. *et al.* Genetic biofortification: advancing crop nutrition to tackle hidden hunger. **Functional & Integrative Genomics**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 24-34, 16 fev. 2024. Springer Science and Business Media LLC.