



**VICTOR HUGO LACERDA ROCHA DE MELO**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM SELÊNIO NA  
CULTURA DO TRIGO**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**VICTOR HUGO LACERDA ROCHA DE MELO**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DO TRIGO COM SELÊNIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Maria Ligia de Souza  
Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2023**

**VICTOR HUGO LACERDA ROCHA DE MELO**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DO TRIGO COM SELÊNIO**  
**AGRONOMIC BIOFORTIFICATION WITH SELENIUM IN**  
**WHEAT CROP**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 24 de julho de 2023

Dr. Ane Caroline Melo Ferreira UFLA

Dr. Edinei José Armani Borghi UFLA

Msc. Fabrício Teixeira de Lima Gomes UFLA

Profa. Dra. Maria Ligia de Souza  
Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2023**

## RESUMO

O selênio é um elemento essencial para animais e humanos e a sua deficiência é um problema mundial, sendo relacionada à diversos problemas de saúde (e.g., câncer, infertilidade masculina e suscetibilidade a infecções virais). Em geral, grande parte dos solos agrícolas no Brasil apresentam baixa disponibilidade de selênio e, conseqüentemente, os alimentos produzidos apresentam baixo teor desse elemento. Portanto, a biofortificação agrônômica de alimentos básicos, como o trigo, torna-se uma alternativa eficaz e menos onerosa para mitigar a deficiência de selênio na dieta da população. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de selênio sobre o seu teor e acúmulo no trigo, bem como a produção de grãos. O experimento foi conduzido em vasos de 5 dm<sup>3</sup> com a cultivar BRS 264 sob condições de casa de vegetação no Departamento de Ciências do Solo, na Universidade Federal de Lavras. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por cinco doses de selênio (0,0, 0,25, 0,5, 1,0 e 1,5 mg dm<sup>-3</sup>) aplicadas em dois solos distintos (LVdf e LVAd). Os resultados mostraram que a dose 1,0 mg dm<sup>-3</sup> de Se apresentou a melhor resposta para a produção de grãos e massa seca da parte aérea. Para ambos os solos a dose 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se apresentou o maior resposta para o teor e acúmulo de Se na parte aérea e nos grãos de trigo.

**Palavras-Chave:** *Triticum* spp., biofortificação, selênio, solo, nutrientes

## ABSTRACT

Selenium is an essential element for animals and humans, and its deficiency is a global issue, being associated with various health problems (e.g., cancer, male infertility, and susceptibility to viral infections). Generally, a significant portion of agricultural soils in Brazil exhibits low selenium availability, leading to low selenium content in the produced foods. Therefore, agronomic biofortification of staple foods, such as wheat, becomes an effective and cost-efficient alternative to mitigate selenium deficiency in the population's diet. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of selenium application on its content and accumulation in wheat, as well as grain production. The experiment was conducted in 5 dm<sup>3</sup> pots with the cultivar BRS 264 under greenhouse conditions at the Department of Soil Science, Federal University of Lavras. The experiment followed a completely randomized design (CRD) in a 5x2 factorial arrangement, with four replicates. The treatments consisted of five selenium doses (0.0, 0.25, 0.5, 1.0, and 1.5 mg dm<sup>-3</sup>) applied to two different soils (LVdf and LVAd). The results showed that the 1.0 mg dm<sup>-3</sup> dose of selenium presented the best response for grain production and shoot dry mass. For both soils, the 1.5 mg dm<sup>-3</sup> dose of selenium showed the highest response for selenium content and accumulation in the shoot and wheat grains.

**Keywords:** *Triticum* spp., biofortification, selenium, soil, nutrients

*À minha família, que estiveram ao meu lado não só na minha caminhada na  
graduação como também em todos os desafios da minha vida  
Aos professores que me ajudaram a chegar até aqui  
**Dedico***

## AGRADECIMENTOS

Aos meus avós, Josafá e Ruth Lacerda por todo apoio e confiança. Sem vocês eu não poderia realizar este sonho.

Aos meus pais, Wancleber e Dilma que estiveram ao meu lado em todas as etapas da minha graduação, me aconselhando e me confortando.

A minha avó Salete Rocha, por estar sempre presente, sendo minha fiel conselheira.

A uma pessoa muito especial, que sem ela eu nem seria a pessoa que sou hoje. Michelli Rocha agradeço a deus por sua existência.

Aos meus padrinhos, Luiz e Sandra por estarem comigo em todos os novos desafios da minha vida e por me fazerem sentir em casa.

Aos meus irmãos e irmãs, que sempre me apoiaram a conquistar os meus sonhos.

Aos meus familiares, que tenho grande carinho por todo amor, conselhos e mãos estendidas para quando eu precisei

A cinco amigos que foram minha família em lavras e na UFLA, Eduardo, João, Miguel e Thiago.

Aos meus amigos de Lavras, Erick, Iza, Luiz e Vanessa por estarem sempre comigo.

Ao coronamigos, por estarem comigo em diversas aventuras, risadas, festas e alguns dias difíceis também.

Aos meus professores Maria Ligia, Thiago Bernardes e Sha tao que acreditaram no meu trabalho e me auxiliaram a ser um profissional melhor.

Aos meus amigos do DCS, Anne, Amanda, Edinei e Fabrício pelo auxílio na pesquisa e pelos conhecimentos compartilhados.

A Universidade Federal de Lavras, por todo o conhecimento adquirido e a excelência de seus técnicos e professores.

A uma pessoa muito especial que não só me apoiou como também me ensina todos os dias a ser uma pessoa melhor, Marcus Carvalho.

***Obrigado!***

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>08</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1 Cultura do trigo.....	10
2.2 Selênio e a saúde humana .....	11
2.3 Selênio no solo e nas plantas.....	12
2.4 Biofortificação agronômica.....	13
2.5 Biodisponibilidade do Se no solo.....	14
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
3.1 Objetivos específicos.....	17
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
4.1 Local e delineamento experimental .....	18
4.2 Características do solo e fertilidade.....	18
4.3 Condições de cultivo.....	19
4.4 Colheita.....	19
4.5 Avaliações.....	19
4.6 Análises Estatísticas.....	20
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
5.1 Produção de grãos e biomassa.....	21
5.2 Teor e acúmulo de Se na parte aérea.....	22
5.3 Teor e acúmulo de Se nos grãos .....	23
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>26</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O Se é um elemento benéfico para as plantas e essencial para os animais e humanos. Sendo incorporado na forma de aminoácido (selenocisteína e selenometionina) às proteínas, conhecidas como selenoproteínas. O Se atua estimulando a atividade de células do sistema imune, auxiliando contra infecções virais, como a COVID-19. Além do seu papel na regulação hormonal, fertilidade masculina e redução de doenças como o câncer, devido a sua propriedade antioxidante.

Em humanos, a deficiência de Se está interligada a diversas doenças, como: hipotireoidismo, infertilidade masculina, câncer e doenças cardíaco-cerebrovasculares. Apesar dos efeitos maléficos de sua deficiência, os sintomas de deficiência de Se no organismo humano são difíceis de identificar por apresentarem características generalistas, como taquicardia, hipertensão e contrações musculares. Além disso, a distância entre os valores de referência para deficiência e toxidez do Se é muito pequena.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (2000) e Donadio (2021), a dose recomendada para consumo diário de Se é de 55 µg não devendo ultrapassar 400 µg para adultos. Dessa forma, consumo de alimentos ricos em Se pode ser uma boa opção para evitar a sua deficiência, devendo-se observar as variações dos teores entre os alimentos.

A biofortificação é o processo de enriquecer os alimentos com nutrientes, visando melhorar a saúde e a nutrição da população. No caso específico da biofortificação com selênio em plantas de trigo, o objetivo é aumentar a concentração de selênio nos grãos de trigo, tornando-os uma fonte mais rica desse elemento.

Existem várias abordagens para a biofortificação com selênio em plantas de trigo. Uma delas envolve a utilização de técnicas agronômicas, como a adição de fertilizantes contendo selênio ao solo onde as plantas são cultivadas. O selênio é absorvido pelas raízes das plantas e, posteriormente, transportado para os grãos. Essa abordagem é relativamente simples de implementar, porém requer um controle cuidadoso da quantidade de selênio aplicada, pois altas doses podem ser tóxicas para as plantas.

Outra abordagem mais avançada envolve a modificação genética das plantas de trigo para aumentar sua capacidade de absorver e acumular selênio. Por exemplo, genes de transportadores de selênio podem ser introduzidos nas plantas para melhorar sua

eficiência na absorção desse elemento. Essa técnica requer conhecimentos especializados em biotecnologia e regulamentações específicas para organismos geneticamente modificados.

É importante ressaltar que a biofortificação com selênio em plantas de trigo é uma estratégia em desenvolvimento e pesquisa, e sua implementação comercial em larga escala pode levar algum tempo. Além disso, é necessário realizar estudos cuidadosos para avaliar a segurança e a eficácia dessa abordagem, garantindo que os alimentos biofortificados sejam seguros para consumo humano.

No entanto, a biofortificação com selênio em plantas de trigo tem o potencial de fornecer uma fonte mais acessível e sustentável de selênio na dieta, contribuindo para a redução da deficiência desse mineral em populações que dependem do trigo como um alimento básico.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cultura do Trigo

O trigo (*Triticum* spp.) é uma gramínea da família *Poaceae* e uma das mais antigas culturas domesticadas pelos humanos, esse processo teve início a dez mil anos, quando houve a troca da busca por alimentos pela agricultura convencional. Sendo o trigo um dos alimentos mais consumidos no mundo, devido ao glúten contido nos grãos que permite diversas possibilidades de produção de alimentos, como pães e massas (SHEWRY, 2009). Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Trigo (Abitrigo), o consumo de trigo nos anos de 2020 a 2021 foi de 769,2 e 12,2 milhões de toneladas mundialmente e no Brasil, respectivamente. Sendo o consumo anual por pessoa no Brasil igual a 40,6 kg.

A alta plasticidade de adaptação do trigo, promove sua dispersão e produção em diversas regiões do globo terrestre (PASSINATO et al., 2014). Dessa forma, segundo o relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a área plantada com trigo na safra 2021/2022 foi de 224 milhões de hectares. No cenário nacional, o Brasil está na 16ª posição no ranking de produção mundial, com uma produção de 10,4 milhões de toneladas. Entretanto, o Brasil não é autossuficiente na produção de trigo dependendo de importações anuais de grãos dessa cultura (CONAB, 2023; 2021).

No Brasil, o trigo exerce um importante papel na sustentabilidade da agricultura. A possibilidade de cultivo no inverno, permite a utilização e cultivo em terras previamente ociosas. No Sul, a possibilidade de cultivo o ano inteiro, devido a pluviosidade, é de grande importância para a economia do Brasil e da região (EMBRAPA, 2017). Sendo a produção da região igual a 7 milhões de toneladas na safra de 2020 (CONAB, 2021).

A cultivar de trigo mais plantada no cerrado brasileiro é a BRS 264, ela apresenta alta produtividade, qualidade para produção de grãos, aceitação pela indústria e resistência a algumas doenças de importância econômica, como a ferrugem do colmo (*Puccinia graminis tritici*) e ferrugem da folha (*Puccinia recondita*). Sendo uma importante cultivar para o Brasil central (EMBRAPA, 2021).

Além disso, a cultura do trigo é capaz de absorver e acumular diversos nutrientes do solo, entre eles o selênio, sem que haja perda de produtividade. Atrelado ao fato de que o conteúdo de Se em plantas de trigo depende do teor deste elemento no solo. Dessa

forma, a biofortificação agrônômica do trigo pode ser eficiente por suplementar o solo com Se e conseqüentemente a população, por meio do consumo dessa cultura.

## 2.2 Selênio e a Saúde Humana

O selênio (Se) é um elemento traço de grande importância para a saúde humana. Pois está presente em diversos processos no organismo humano e animal. O Se pode ser encontrado na forma inorgânica, como selenato, selenito e seleneto. Ou na forma orgânica, como selenometionina (SeMet) e selenocisteína (SeCys) (HOSSAIN et al., 2021). Sendo incorporado na forma de aminoácido, a selenocisteína (SeCys) e posteriormente em proteínas, as selenoproteínas (KIELISZEK, 2022). Essas proteínas participam de processos importantes no organismo de mamíferos, auxiliando na melhoria da defesa do sistema imunológico contra patógenos, regulação hormonal, fertilidade masculina e prevenção ao câncer (GENCHI, 2023).

A principal fonte de Se é a alimentação, sendo uma boa forma de evitar sua deficiência (Tabela 1). No entanto, a quantidade de Se nos alimentos está fortemente interligada com a quantidade deste elemento no solo. E por ser um elemento traço, sua quantidade no globo terrestre é pequena e distribuída de forma irregular (GEBREEYESSUS, 2019). Portanto, a quantidade de Se em um mesmo alimento pode variar a depender de sua região geográfica de produção.

Tabela 1 – Variação genotípica na acumulação de selênio por diversas culturas.

Tipo de planta	N° variedades	Variação ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	Autor(es)
Festuca – pastagem	15	82 -147	McQUINN et al. (1991)
Pimentão	24	133 -1.197	GOLUBKINA et al. (2000)
Soja (grãos)	06	12 -45	YANLING et al. (2002)
Trigo (grãos)	100	9 -244	LYONS et al. (2005)
Trigo (grãos)	40	37 -20	LYONS et al. (2005)
Trigo (grãos)	175	33 -440	ZHAO et al. (2009)
Trigo (grãos)	42	24 -116	BONA et al. (2009)
Triticale (grãos)	96	22 -140	BONA et al. (2009)
Arroz (grãos)	151	29 -103	ZHANG et al. (2006)
Arroz (grãos)	35	15 -122	MORAES et al. (2009)
Brócolis - híbridos	20	50 -95	FARNHAM et al. (2007)
Brócolis - linhagens	15	34 -89	FARNAHM et al. (2007)

Fonte: REIS, Heitor Pontes Gestal (2017).

Estima-se que um bilhão de pessoas sofram com deficiência de Se no mundo (SHREENATH et al., 2018). Essa deficiência promove o enfraquecimento do sistema imunológico, possibilitando o aumento da incidência e da severidade de doenças virais. Segundo Zhang et al. (2020) existe uma correlação entre casos de COVID-19 e os efeitos antivirais do Se. Demonstrando porcentagem maior de cura entre pacientes com quantidades maiores de Se no organismo. Ademais, existe uma correlação entre pacientes com HIV e baixas quantidades de Se no organismo. Demonstrando que quantidades adequadas de Se no organismo promove melhorias em quadros de internação (STONE, 2010).

A deficiência de Se é fortemente conhecida pela doença de Keshan, evidenciada pela fibrose e necrose miocárdica multifocal. É uma doença endêmica da China devido ao solo deficiente em Se (CHEN, 2012). Entretanto, assim como outros elementos traço, se consumido em grandes quantidades pode ser tóxico. Segundo a Organização Mundial de Saúde (2000), a quantidade para consumo indicada é de em média  $55 \mu\text{g dia}^{-1}$ , para adultos. Sendo tóxico em quantidades superiores a  $400 \mu\text{g dia}^{-1}$  (SCHIAVON, 2020; VINCETI, 2018). Sendo a selenose causada pelo consumo constante da dose superior ao recomendado. A selenose pode ser identificada pela queda de cabelo, enfraquecimento das unhas, mas principalmente pelo hálito com cheiro de alho devido a volatilização do selênio dimetil (GENCHI, 2023).

O alto consumo de alimentos básicos, como trigo, milho e arroz, principalmente em países em desenvolvimento, permite o fornecimento de carboidratos, mas não satisfaz as necessidades nutricionais em micronutrientes (BOUIS, 2018). Como o Se participa de diversos processos regulatórios em órgãos, como tireoide, músculos, cérebro e suas propriedades antioxidantes de prevenção ao câncer, a biofortificação agrônômica possibilita enriquecer nutricionalmente, culturas como o trigo e possibilita o aumento do teor de elementos como o Se nas partes comestíveis desses alimentos básicos (GALIĆ, 2021; KURŠVIETIENĖ, 2020).

### **2.3 Selênio no Solo e nas Plantas**

Apesar de não ser essencial para as plantas, o Se desempenha um importante papel antioxidante em mamíferos e pode ser benéfico para as plantas por reduzir o estresse oxidativo (ZHANG et al., 2020). Entretanto, assim como outros elementos traço, o Se encontra-se irregularmente distribuído nos solos do Brasil e do mundo. Segundo Silva et

al. (2012), os solos de maior predominância no estado de Minas Gerais, apresentam em média  $0,38 \text{ mg kg}^{-1}$  de Se. Apresentando grande diferença entre solos mais intemperizados ou com material de origem vulcânica. Além disso, a busca por maiores produtividades nos programas de melhoramento genético tem negligenciado o conteúdo nutricional, uma vez que o aumento de produtividade está negativamente interligado ao conteúdo de nutrientes (MURPHY et al., 2008). Adicionado ao intenso uso do solo nos sistemas agrícolas atuais que promovem a redução dos teores dos minerais nos solos (DAPKEKAR, 2020).

O Se pode se apresentar de diversas formas e de acordo com as características do solo. Sendo que em solos alcalinos a forma predominante é o selenato. E em solos ácidos e bem drenados, o selenito. Já em solos mais ácidos e mais compactados, o seleneto e o Se elementar apresentam-se em predominância, não sendo as formas disponíveis para absorção pelos vegetais, (MANOJLOVIĆ, 2019; MORAES, 2008).

Sabe-se que o nitrogênio é um macronutriente importante para o crescimento das plantas. E que sua interação com o Se pode ser benéfica para o acúmulo de Se nos grãos (HONGYAN, 2022). Reis et al. (2018) demonstrou que o aumento das doses de N promoveu um aumento no teor de Se nos grãos de arroz. Isso ocorre pois o N ativa o metabolismo do S, e como o Se e o S usam caminhos metabólicos semelhantes, a assimilação do Se é melhorada. Entretanto, altas aplicações de N pode promover a acidificação do solo e reduzir a absorção de Se, devendo-se portanto, analisar as doses de forma cautelosa (ZHOU et al., 2020). Já o S apresenta forte correlação com o metabolismo do Se. Segundo Souza Cardozo (2022), os mesmos transportadores do sulfato também transportam o selenato nas plantas. Além disso, os dois elementos apresentam antagonismo, sendo um menos absorvido na presença do outro.

O fósforo é outro macronutriente que pode afetar a absorção de Se. Isso ocorre devido a competição iônica que existe entre eles por apresentarem características químicas e físicas semelhantes. Entretanto, Zhou et al. (2015) demonstrou que a aplicação de P altera a absorção de Se dependendo de sua forma no solo. Sendo que aplicações de P aumentam a biodisponibilidade do selenato (ZHOU et al., 2020).

## **2.4 Biofortificação Agronômica**

A deficiência de nutrientes é uma problemática por limitar o desenvolvimento vegetal e animal, além de desequilibrar diversas funções do organismo. Baixos níveis de nutrientes podem causar anomalias metabólicas com sintomas pouco visíveis. O que pode

ocasionar quadros de deficiência crônica, conhecido como fome oculta (DE VALENÇA et al., 2017; SARWAR, 2020).

Portanto, a biofortificação agronômica com Se, apresenta-se como uma boa alternativa para redução dos casos de deficiência de Se em humanos. Por adequar os níveis de Se nos solos e conseqüentemente elevar seus teores nas plantas cultivadas. Existem diversas técnicas de biofortificação, como a biofortificação agronômica (via solo e foliar). Ou por técnicas de melhoramento genético, como cruzamento convencional e transgenia (VALENÇA, 2017; BHARDWAJ, 2022).

A biofortificação agronômica foca no uso de fertilizantes acrescidos de micronutrientes e/ou elementos desejados. Sendo uma técnica vantajosa por ser menos onerosa e não específica para cada cultura (FAO, 2017; BHARDWAJ, 2022). Portanto, o uso da biofortificação agronômica com Se em culturas como o trigo, permite o fornecimento desse elemento as principais parcelas da população em carência de Se, em decorrência do grande consumo desse alimento básico por essa parcela da população (VALENÇA, 2017).

A Finlândia é um dos casos de sucesso mais reconhecido da biofortificação agronômica com Se. Sendo um programa, com extensão nacional, de enriquecimento dos fertilizantes com Se desde 1984. Segundo Alfthan et al. (2015) houve um acréscimo de quinze vezes no conteúdo de Se nos cereais, quando comparado com os níveis de Se antes do programa de adubação com Se. Além disso, como as principais fontes de Se pela alimentação para humanos advém de frutas, cereais e carne, o incremento de Se pela Finlândia aos seus alimentos também foi incluída à alimentação animal. Sendo o único país a mensurar a quantidade de Se nos fertilizantes em uma escala nacional.

## **2.5 Biodisponibilidade de Se nos Solos**

As interações iônicas fazem parte de um grande grupo de processos que ocorrem dentro do solo e da planta que podem alterar a biodisponibilidade do Se no solo. Essas interações podem ser de sinergismo, antagonismo ou inibição. Sendo o sinergismo, o processo no qual um elemento favorece a absorção de outro. Já o contrário ocorre com o antagonismo, sendo um processo, no qual, a presença de um elemento reduz a absorção de outro. Para a inibição, a presença de um elemento também reduz a absorção de outro. Podendo ser competitiva, quando não há diferenciação dos íons, de propriedades físico-químicas semelhantes, por parte dos transportadores (SILVA E TREVIZAM, 2015). Ou não competitiva, quando o processo de competição pelo mesmo transportador não ocorre.

Portanto, a compreensão das interações iônicas possibilita a melhoria do manejo nutricional das plantas.

O potássio (K) que é um cátion alcalino, apresenta interação com outros íons importantes. Portanto, em solos com teores elevados de K na solução do solo promove a redução dos teores de Ca e Mg nas plantas. Podendo não haver redução da produtividade, devido aos efeitos de promoção do crescimento pelo K, se os teores desse elemento não forem demasiadamente altos. Entretanto, a deficiência de Mg em plantas tem forte relação com os teores de K e Ca no solo. Possibilitando perdas de produtividade devido ao papel do Mg na fotossíntese e síntese proteica (CAKMAK, 1994).

O antagonismo existente entre K e Mg aumenta principalmente entre culturas mais exigentes em adubação potássica e que estejam em regiões tropicais com alta pluviosidade. Tendo seu efeito intensificado de acordo com o estágio fenológico de maior necessidade da planta (XIE, 2021). Ressaltando a necessidade de uma adubação equilibrada entre esses dois elementos. Vale ressaltar que o efeito de K sobre esses elementos é mais forte do que o contrário, pois o K consegue passar pela membrana das células das raízes com maior facilidade (SILVA E TREVIZAM, 2015).

Outra interação iônica de antagonismo importante, ocorre entre o selênio (Se) e o enxofre (S). Esse processo ocorre devido as semelhanças entre as características químicas desses elementos. Segundo Souza Cardoso (2022), os transportadores de sulfato também transportam o selenato e demonstrou uma redução de aproximadamente 20% na concentração de S na raiz, em plantas tratadas com Se.

O Se apresenta interação com outros macronutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P). Sendo que a aplicação de fertilizantes nitrogenados aumenta a concentração de Se nos grãos. Segundo Zhou (2020), aplicações de fertilizantes nitrogenados ativa o metabolismo do S, possibilitando que o mecanismo, acima mencionado, ocorra e mais Se seja absorvido pela planta. Além disso, em solos com baixos teores de Se, a aplicação de N melhora a absorção de Se, sendo uma forma de melhorar a eficiência de absorção por parte da planta (CHEN, 2017).

A relação do Se com o P apresenta-se conflituosa na literatura, sendo que a divergência advém do fato de as aplicações de P junto ao seleneto, reduzir o acúmulo de Se nas plantas. Porém se aplicado junto ao selenato o contrário ocorre em plantas de trigo, (ZHANG, 2017). Dessa forma, a alteração na absorção de Se dependerá da forma de Se aplicada em relação à adubação com P. Vale adicionar que as informações sobre a



interação entre  $Se$  e  $K$  é escassa, ressaltando a necessidade de mais estudos sobre o assunto.

### **3. OBJETIVOS**

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de diferentes doses de selênio sobre o teor e acúmulo deste elemento em plantas de trigo, em dois tipos de solo. Assim como a produção de grãos e massa seca da parte aérea.

#### **3.1 Objetivos específicos**

- 1 – Avaliar a produção de grãos e biomassa de plantas de trigo;
- 2 – Avaliar o teor e o acúmulo de Se na parte aérea e nos grãos de plantas de trigo.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Local e delineamento experimental

O experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, Brasil. Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação entre cinco doses de Se (0,0, 0,25, 0,5, 1,0 e 1,5 mg dm<sup>-3</sup>), aplicados na forma de solução nutritiva e em dois solos distintos (LVdf e LVad), um com textura argilosa e outro de textura média. Foi utilizado a fonte selenato de sódio (Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub>). Cada repetição foi constituída por um vaso de 5 dm<sup>3</sup> com 3 plantas.

### 4.2 Características do solo e Fertilidade

Amostras de solo foram coletadas e as análises químicas e físicas (textura) foram feitas de acordo com Donagema et al. (2011) (Tabela 2).

Tabela 2 – Características químicas e físicas de amostras do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Solo	pH	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	t	T	SB	V	m	
		mg dm <sup>-3</sup>	..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....								.....%	
LVdf	5,0	54,0	1,5	0,2	0,4	6,3	2,2	8,1	1,8	22,5	17,8	
LVA	4,9	26,0	0,3	0,1	0,3	2,0	0,7	2,5	0,4	18,3	38,9	
	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MO	Areia	Silte	Argila	
			..... mg dm <sup>-3</sup> .....							..... dag kg <sup>-1</sup> .....		
LVdf	1,1	11,6	0,3	2,5	28,0	17,5	0,3	2,8	16	15	69	
LVA	0,3	7,0	0,2	0,6	12,0	1,2	1,3	0,5	66	2	66	

*pH (água); Ca, Mg e Al (KCl 1mol L<sup>-1</sup>); P, K, Fe, Zn, Mn e Cu (Mehlich 1); Acidez potencial (SMP); Matéria orgânica (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 mol L<sup>-1</sup>) de acordo com metodologia de Silva (2009). Areia, silte e argila (Bouyoucos) modificado por Carvalho (1985).*

As adubações com P e S foram aplicadas na sementeira. Foi utilizado como fonte o super fosfato triplo (SFT, 42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>, 15% de S), nas quantidades 1,6 e 0,3 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente. N e K foram aplicados utilizando-se ureia (45% N) e cloreto de potássio (KCl, 60% K<sub>2</sub>O) em três parcelas (7, 37 e 67 dias após a sementeira). Para o fornecimento de N a quantidade foi 222 mg dm<sup>-3</sup>, para cada parcela.

Para o fornecimento de K a quantidade total foi de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$ .

### **4.3 Condições de Cultivo**

Segundo Köppen-Geiger, a área de experimentação encontra-se em uma zona climática Cwa, com inverno seco e verão chuvoso. Foram utilizados dois solos com textura contrastante, sendo um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) de textura argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) de textura média (SANTOS, 2018). Os solos foram coletados em área de vegetação nativa, na camada de 0-20 cm, localizadas no município de Lavras e Itumirim, respectivamente. Posteriormente, os solos foram secos ao ar, peneirados em peneira com malha de 4 mm, pesados e acondicionado em vasos.

A correção do solo foi realizada com base nos resultados da análise química, sendo utilizado o calcário dolomítico, visando atingir uma saturação por bases de 70%. Após a aplicação, o solo passou por um período de incubação por 30 dias, nos quais, a umidade foi mantida a 60% do volume total de poros (VTP).

Devido a sua adaptabilidade ao cerrado brasileiro e aceitação pela indústria (EMBRAPA, 2006), foram utilizadas sementes de trigo (*Triticum aestivum* cv. BRS 264) para posterior análise dos efeitos da aplicação de diferentes doses de Se. As sementes foram semeadas em grupos de cinco, em vasos que foram alocados na casa de vegetação do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Lavras. Onde a luz foi mantida de forma natural e a irrigação realizada com água destilada. Após duas semanas, três plantas vigorosas foram mantidas em cada vaso.

### **4.4 Colheita**

As plantas foram colhidas no final da fase de enchimento de grãos aos 110 dias após semeadura. As plantas foram divididas em duas partes, sendo parte aérea, constituída de caule, folhas e espigas sem os grãos e a outra parte constituída por grãos. O material de cada vaso foi separado em sacos de papel e posteriormente seco por 72h ( $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ) em estufas com circulação de ar forçado. O peso da parte aérea e dos grãos foi determinado em balança de precisão digital. Tanto a parte aérea quanto os grãos foram processados em moinho do tipo Wiley, com peneira de 1 mm, para posterior análises químicas.

### **4.5 Avaliações**

#### **Determinação do teor de Selênio**

Material seco da parte aérea e do grão foi moído para determinação do Se. As amostras moídas (0,500 g) passaram pelo processo de digestão com solução ácida (6 ml

HNO<sub>3</sub> + 2 ml HClO<sub>4</sub>) em bloco digestor com aquecimentos sequenciais da seguinte forma: 50, 100 e 150 °C por 60 min cada e 200 °C. O extrato foi transferido para balões volumétricos de 10 ml após se tornarem translúcidos. Em seguida o volume das amostras foi ajustado com água deionizada. As concentrações de Se foram determinadas pelo método de Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Para o cálculo do acúmulo de Se nos grãos e na parte aérea foi realizado a multiplicação do teor de Se pela produção de matéria seca do grão e da parte aérea, respectivamente.

#### **4.6 Análises estatísticas**

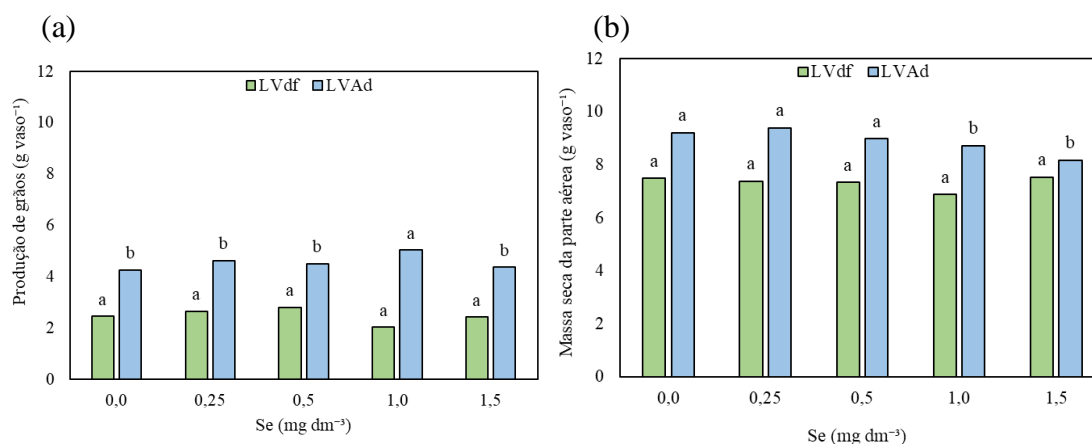
As análises estatísticas foram realizadas no software SISVAR. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). As médias foram comparadas por meio do teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Produção de grãos e biomassa

Para o solo (LVdf) a produção de grãos e biomassa não foi alterada significativamente pelas doses de Se. Apresentando média igual a 2,5 e 7,4 g vaso<sup>-1</sup>, para produção de grãos e biomassa, respectivamente (Figura 1a e 1b). Para o solo (LVAd), a adição de Se alterou significativamente essas variáveis, com a dose 1,0 mg dm<sup>-3</sup> de Se apresentando média superior e igual a 5,0 g vaso<sup>-1</sup>, para produção de grãos (Figura 1a). Já para a produção de massa seca da parte aérea, doses superiores a 0,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se apresentaram redução com médias iguais a 8,4 g vaso<sup>-1</sup> (Figura 1b).

Figura 1 – Produção de grãos de trigo (a) e massa seca da parte aérea (b) em função de doses de Se, nos solos LVdf e LVAd. Para cada solo estudado, letras minúsculas iguais entre as doses de Se aplicadas não se diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).



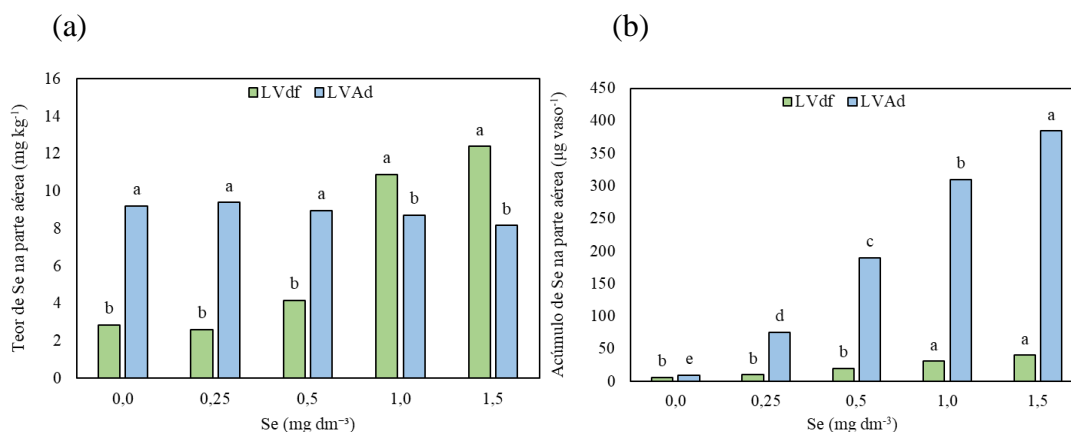
Para o solo (LVdf) a produção de grãos e a massa seca da parte aérea foi semelhante entre os tratamentos, mesmo para doses superiores de Se. Além disso, os tratamentos apresentaram valores de (MSG) adequados para esta cultivar, possivelmente devido ao efeito não tóxico do Se na (MSG) para este solo. Radawiec et al. (2021) demonstraram que a aplicação de Se via solo não alterou a produção de grãos. Bradley et al. (2010) encontraram resultados semelhantes, demonstrando que não houve aumento na produção com a adição de Se. Para o solo (LVAd), doses superiores a 1,0 e 0,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se influenciaram negativamente a (MSG) e (MSPA), possivelmente devido a selenose. Segundo Gupta (2017), a selenose ocorre quando se excede as concentrações ideais de Se na planta. Em excesso de Se promove a indução de estresse oxidativo nas plantas, o que provoca desordem metabólica nas plantas. Entretanto, o Se em pequenas doses é capaz de melhorar o crescimento das plantas devido ao seu efeito antioxidante, o que pode

explicar o incremento na produção de grãos na dose  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se (HASANUZZAMAN et al., 2020; Ramos et al., 2020).

## 5.2 Teor e acúmulo de Se na parte aérea

Para os solos (LVdf) e (LVAd), o teor e acúmulo de Se na parte aérea foram alterados significativamente pela adição de Se. Para o (LVdf), as doses  $1,0$  e  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se apresentaram médias superiores e iguais a  $10,9$  e  $12,4 \text{ mg kg}^{-1}$  de Se, respectivamente (Figura 2a). Quanto ao acúmulo, as doses  $1,0$  e  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se apresentaram médias superiores e iguais a  $30,5$  e  $39,8 \text{ } \mu\text{g vaso}^{-1}$  de Se, respectivamente (Figura 2b). Para o (LVAd), doses superiores a  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se, apresentaram redução no teor de Se, com média igual a  $8,4 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 2a). Quanto ao acúmulo, a dose  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se apresentou média superior e igual a  $384,4 \text{ } \mu\text{g vaso}^{-1}$ , com redução decrescente de acordo com a redução das doses de Se (Figura 2b).

Figura 2 – Teor (a) e acúmulo (b) de Se na parte aérea em função de doses crescentes de Se, nos solos LVdf e LVAd. Para cada solo estudado, letras minúsculas iguais entre as doses de Se aplicadas não se diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

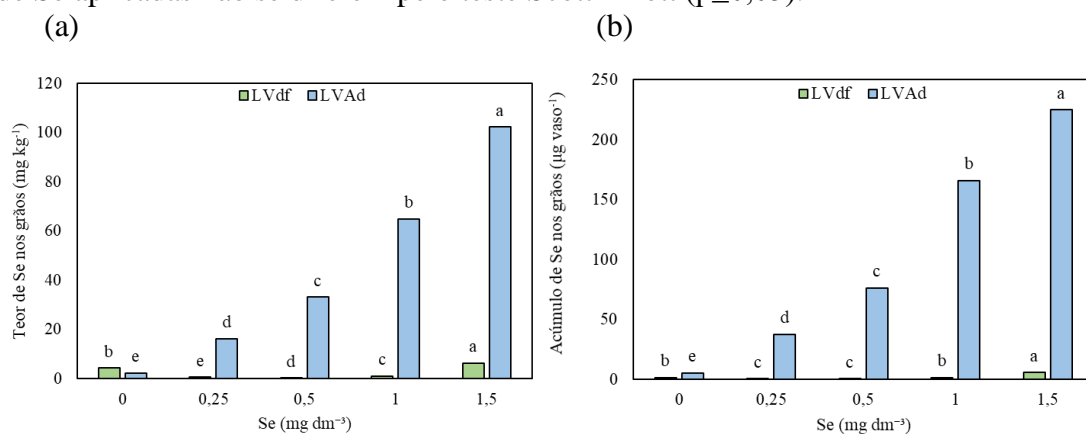


Para o solo (LVdf), o teor e acúmulo de Se foi superior para as maiores doses. Broadley et al. (2010) demonstraram aumento no conteúdo de Se na planta para as doses superiores de Se. Isso se deve provavelmente à redução dos efeitos do estresse oxidativo pela glutathiona (GSH). Para o solo (LVAd), houve um aumento no acúmulo de Se na parte aérea, à medida que se aumenta as doses de Se. Esse comportamento do Se também foi encontrado por Boldrin (2012) que demonstrou maior acúmulo de Se na parte aérea, possivelmente pela maior absorção deste elemento e aproveitamento pela planta com a fonte selenato.

### 5.3 Teor e acúmulo de Se nos grãos

Para os dois solos (LVdf) e (LVAd), tanto o teor como o acúmulo, foram alterados significativamente pelas doses de Se. Para o solo (LVdf), a dose 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se apresentou média superior e igual a 6,3 mg kg<sup>-1</sup>, para teor de Se (Figura 3a). O mesmo ocorreu com o acúmulo, com a dose 1,5 mg dm<sup>-3</sup> sendo superior e com uma média igual a 5,4 µg vaso<sup>-1</sup> (Figura 3b). O mesmo pode ser observado para o solo (LVAd), com a dose 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se apresentando médias superiores e iguais a 102,1 mg kg<sup>-1</sup> e 224,9 µg vaso<sup>-1</sup>, para teor e acúmulo, respectivamente (Figura 3b).

Figura 3 – Teor (a) e acúmulo (b) de Se nos grãos em função de doses crescentes de Se, nos solos LVdf e LVAd. Para cada solo estudado, letras minúsculas iguais entre as doses de Se aplicadas não se diferem pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).



O incremento nas doses de Se, aumentou o teor de Se no grão para os dois tipos de solo. Ramkissoon et al. (2019) encontraram um padrão semelhante, com um maior incremento no teor de Se a medida que se aumenta as doses de Se. Além disso, seus valores de médias encontrados para a cultura do trigo estão em congruência com o solo (LVAd), com intervalo de médias igual a 0,015 a 0,84 mg kg<sup>-1</sup> de Se.

Para os dois tipos de solo, houve um incremento no acúmulo de Se a medida que aumenta-se as doses de Se. Isso se deve, provavelmente, ao maior conteúdo de Se no solo. Liu et al. (2021) demonstraram essa relação, com aumento no acúmulo de Se em solos com maiores quantidades de Se, assim como o inverso.

Vale ressaltar que as diferenças encontradas entre os solos para teor e acúmulo de Se pode ser explicada pela diferença entre as quantidades de argila de cada solo, pois solos com quantidades de argila maiores proporcionam maiores valores de adsorção de



Se, mesmo o selenato que apresenta adsorção inferior as outras formas do Se no solo (selenito).

O teor de Se nos grãos de trigo irá diferir após o beneficiamento e produção das diversas receitas com farinhas de trigo. Entretanto, os valores dos teores de Se nos grãos pode nortear o consumo de Se pela população. Dessa forma, se mantido o consumo de trigo de 40,6 kg por pessoa por ano no Brasil, a dose de  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se pode promover o aumento na ingestão de Se pelos brasileiros, sem ultrapassar os valores de referência para o consumo de Se.

## **6. CONCLUSÃO**

Para os dois solos avaliados a dose de  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se se apresentou-se mais viável para biofortificação agronômica e conseqüente maior acúmulo de Se nos grãos de trigo. Sendo essa dose ideal para atingir o consumo diário de Se que deve estar na faixa de 55 a  $400 \mu\text{g pessoa}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ .

## 7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ALFTHAN, Georg et al. Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: From deficiency to optimal selenium status of the population. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 31, p. 142-147, 2015.
- ANDRÉS, Zaida et al. Control of vacuolar dynamics and regulation of stomatal aperture by tonoplast potassium uptake. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 17, p. E1806-E1814, 2014.
- ARAÚJO, Érica de O.; DOS SANTOS, Elcio F.; CAMACHO, Marcos A. Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 383-389, 2013.
- BAE, Minkyung; KIM, Hyeyoung. The role of vitamin C, vitamin D, and selenium in immune system against COVID-19. **Molecules**, v. 25, n. 22, p. 5346, 2020.
- BHARDWAJ, Ajay Kumar et al. Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1055278, 2022.
- BHARDWAJ, Ajay Kumar et al. Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1055278, 2022.
- CARUCCI, Federica et al. Selenium agronomic biofortification of durum wheat fertilized with organic products: se content and speciation in grain. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 2492, 2022.
- CHEN, Junshi. An original discovery: selenium deficiency and Keshan disease (an endemic heart disease). **Asia Pacific journal of clinical nutrition**, v. 21, n. 3, p. 320-326, 2012.
- CHEN, Yu-Peng et al. Effects of nitrogen application on selenium uptake, translocation and distribution in winter wheat. *Huan Jing ke Xue= Huanjing Kexue*, v. 38, n. 2, p. 825-831, 2017.
- CHENG, Wen-Hsing. Revisiting selenium toxicity. **The Journal of Nutrition**, v. 151, n. 4, p. 747-748, 2021.
- DANTAS, Antonio Augusto Aguilar; CARVALHO, Luiz Gonsaga de; FERREIRA, Elizabeth. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1862-1866, 2007.
- DE VALENÇA, A. W. et al. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. **Global food security**, v. 12, p. 8-14, 2017.
- DINH, Quang Toan et al. Bioavailability of selenium in soil-plant system and a regulatory approach. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 6, p. 443-517, 2019.
- DONADIO, Janaina LS et al. The influence of nutrigenetics on biomarkers of selenium nutritional status. **Nutrition Reviews**, v. 79, n. 11, p. 1259-1273, 2021.

- DOS REIS, A. R. et al. Biofortificação agronômica com selênio no Brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, p. 128-138, 2014.
- DOS SANTOS, Marina; DA SILVA JÚNIOR, Flavio Manoel Rodrigues; MUCCILLO-BAISCH, Ana Luíza. Selenium content of Brazilian foods: A review of the literature values. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 58, p. 10-15, 2017.
- FAO (2017). Nutrient-sensitive agriculture and food systems in practice. In: Food and agriculture organization of the united nations (Rome). Disponível em: <https://www.fao.org/3/i7848en/I7848EN.pdf> (Acessado em 30 de junho, 2023)
- FIGUEIREDO, Ricardo Tajra. **Manejo da adubação potássica na cultura da batata-doce**. 2019.
- GALIĆ, Lucija et al. Agronomic biofortification of significant cereal crops with selenium—A review. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 1015, 2021.
- GEBREEYESSUS, Getachew Dagne; ZEWGE, Feleke. A review on environmental selenium issues. **SN Applied Sciences**, v. 1, p. 1-19, 2019.
- GENCHI, Giuseppe et al. Biological activity of selenium and its impact on human health. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 3, p. 2633, 2023.
- HASANUZZAMAN, Mirza et al. Selenium in plants: Boon or bane?. **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, p. 104170, 2020.
- HOSSAIN, Akbar et al. Selenium biofortification: roles, mechanisms, responses and prospects. **Molecules**, v. 26, n. 4, p. 881, 2021.
- KIELISZEK, Marek; BANO, Iqra; ZARE, Hamed. A comprehensive review on selenium and its effects on human health and distribution in middle eastern countries. **Biological Trace Element Research**, v. 200, n. 3, p. 971-987, 2022.
- KURŠVIETIENĖ, Lolita et al. Selenium anticancer properties and impact on cellular redox status. **Antioxidants**, v. 9, n. 1, p. 80, 2020
- LUO, K. L.; ZHANG, S. X. The variation pattern of selenium in geological history in relation to regional variation in topical environment. In: Selenium Research for Environment and Human Health: Perspectives, Technologies and Advancements: Proceedings of the 6th International Conference on Selenium in the Environment and Human Health (ICSEHH 2019), October 27-30, 2019, Yangling, Xi'an, China. CRC Press, 2019. p. 31.
- MANOJLOVIĆ, Maja S. et al. Biofortification of wheat cultivars with selenium. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 69, n. 8, p. 715-724, 2019.
- MORAES, M.F. **Selênio em solos, plantas e fertilizantes**. In: II ENCONTRO SOBRE SELÊNIO E TELÚRIO – BRASIL, 2008.
- REIS, Heitor Pontes Gestal et al. Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 508-515, 2018.
- REIS, Heitor Pontes Gestal. **Variação genotípica e biofortificação agronômica com selênio em arroz de terras altas e relações com a qualidade nutricional do grão**. 2017.

SARWAR, Nadeem et al. Selenium biofortification in food crops: Key mechanisms and future perspectives. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 93, p. 103615, 2020.

SCHIAVON, Michela et al. Selenium biofortification in the 21 st century: status and challenges for healthy human nutrition. **Plant and Soil**, v. 453, p. 245-270, 2020.

SHREENATH, Aparna P.; AMEER, Muhammad Atif; DOOLEY, Jennifer. **Selenium deficiency**. 2018.

STONE, Cosby A. et al. Role of selenium in HIV infection. **Nutrition reviews**, v. 68, n. 11, p. 671-681, 2010.

VINCETI, Marco; FILIPPINI, Tommaso; WISE, Lauren A. Environmental selenium and human health: an update. **Current environmental health reports**, v. 5, p. 464-485, 2018.

ZHANG, Dong et al. Selenium accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L) as affected by coapplication of either selenite or selenate with phosphorus. **Soil science and plant nutrition**, v. 63, n. 1, p. 37-44, 2017.

ZHANG, Jinsong et al. Association between regional selenium status and reported outcome of COVID-19 cases in China. **The American journal of clinical nutrition**, v. 111, n. 6, p. 1297-1299, 2020.

ZHANG, Xing et al. Selenium-containing proteins/peptides from plants: A review on the structures and functions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 51, p. 15061-15073, 2020.

ZHOU, XinBin et al. Effects of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil. **Acta Pedologica Sinica**, v. 52, n. 5, p. 1069-1077, 2015.

ZHOU, Xinbin et al. Selenium biofortification and interaction with other elements in plants: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 586421, 2020.