

**UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**SELENATO E SELENITO VIA FOLIAR NA CULTURA SOJA**

**VICTOR ANDRÉ SANTIAGO QUEIROZ**

*Magister Scientiae*

**RIO VERDE**  
**GOIÁS – BRASIL**

**2023**

**VICTOR HUGO CUSTODIO POLICARPO**

**SELENATO E SELENITO VIA FOLIAR NA CULTURA SOJA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para à obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE  
GOIÁS - BRASIL  
2023**

Universidade de Rio Verde  
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira  
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

Q48s Queiroz, Victor André Santiago

Selenato e selenito via foliar na cultura da soja. / Victor André Santiago  
Queiroz. – 2023.  
28 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Faculdade  
de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2023.

Inclui índice de figuras e tabelas.

1. *Glycine max*. 2. Adubação foliar. 2. Selênio. 3. Qualidade de grãos. I.  
Boldrin, Paulo Fernandes. II. Título.

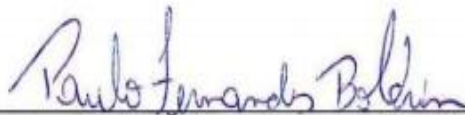
CDD: 633.34

VICTOR ANDRÉ SANTIAGO QUEIROZ

SELENATO E SELENITO VIA FOLIAR NA CULTURA DA SOJA

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

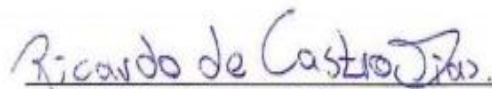
APROVAÇÃO: 27 de fevereiro de 2023



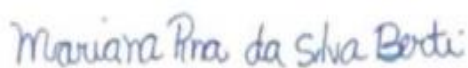
Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin  
Presidente da Banca Examinadora  
Membro – FA/UniRV



Prof. Dra. Juliana Silva Rodrigues Cabral  
Membro - FA/UniRV



Prof. Dr. Ricardo de Castro Dias  
Membro - FA/UniRV



Prof. Dra. Mariana Pina da Silva Berti  
Membro Externo – UEG

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha mãe Rosana Gomes Santiago, a minha noiva Amanda Gonçalves Honorato e minha irmã Ana Victoria Santiago Queiroz, por sempre me darem estímulos, para seguir firme e que não medirem esforços, para que eu conseguisse concluir minha pós-graduação.

Aos meus avós, que não estão mais presentes, mas sei que consegui realizar o sonho deles, e que mesmo não estando mais ao meu lado, me ajudaram muito, me dando força nos momentos em que eu mais precisava.

## AGRADECIMENTO

A minha noiva Amanda Gonçalves Honorato, por me ajudar nas dificuldades diversas e por estar sempre comigo, nos momentos mais importantes, por me apoiar em todas as minhas iniciativas e por me dar os melhores conselhos na tomada de minhas decisões.

A minha mãe Rosana Gomes Santiago, por ter me ajudado nesta longa jornada, e que sem medir esforços passou por cima de todos os desafios e conseguiu realizar nossos sonhos, para à obtenção deste título.

A Deus, pois ele é quem nos ajuda nas lutas diárias, nos dando força, atribuindo a cada dia mais conhecimento e experiência de vida, tanto no ambiente profissional, como no social.

Ao Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin, pelas orientações dadas, tanto relacionadas a graduação, como para a pós-graduação, quanto aos conselhos pessoais, por cada minuto gasto comigo e por ter me passado alguns de seus conhecimentos brilhantes. Por ter me capacitado a me tornar um bom profissional e por me trazer ao programa de pós-graduação em produção vegetal

À Universidade de Rio Verde (UniRV), pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação em Produção Vegetal.

A todos os professores da Universidade de Rio Verde (UniRV), por todos os ensinamentos e preparação.

A todos os amigos, que me ajudaram nesta trajetória, que estiveram presentes ao meu lado.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1 Selênio na nutrição humana e animal.....	2
2.2 Aspectos socioeconômicos da cultura da soja.....	2
2.3 Selênio e metabolismo vegetal.....	3
2.4 O selênio e a biofortificação.....	4
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	5
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
5 CONCLUSÕES.....	14
REFERÊNCIAS.....	14

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Temperatura média e precipitações observadas, durante o período de condução a campo, do experimento. Rio Verde (GO), 2020/2021.....	5
FIGURA 2	Número de vagens com dois grãos em função da aplicação de doses de selênio.....	9
FIGURA 3	Teor de nitrogênio nos grãos de soja em função da aplicação de doses de selênio e das fontes selenato e selenito.....	11
FIGURA 4	Comportamento do teor de proteína nos grãos de soja nas fontes de selenato e selenito em função da aplicação de doses de selênio.....	12
TABELA 5	Comportamento do teor de enxofre nos grãos de soja nas fontes de selenato e selenito em função da aplicação de doses de selênio.....	13



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Análise de solo da área experimental antes da instalação do experimento, profundidade 0-20 cm, realizada em março de 2021.....	6
TABELA 2	Resumo da análise de variância, para número de vagens (NV), número de nós reprodutivos (NN), altura de plantas (AP), vagens de um grão (V1), vagens de dois grãos (V2), vagens de três grãos (V3), vagens de quatro grãos (V4), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD).	8
TABELA 3	Resumo da análise de variância, para teor de proteína (PROT), nitrogênio nos grãos (NG) e enxofre nos grãos de soja (SG).....	8
TABELA 4	Valores médios para as características número de nós, altura de plantas, submetidas a fontes de selênio.....	9
TABELA 5	Valores médios para as características massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD), em função de fontes e doses de selênio.	10

## RESUMO GERAL

O selênio (Se) é um elemento essencial para os humanos e animais, porém não é importante às plantas. O elemento fornece benefícios, desde a prevenção a vários tipos de câncer, capacidade do aumento imunológico e tem propriedades antioxidantes, estando presente no solo, água e alimentos. Portanto, em algumas regiões do mundo esse elemento se encontra escasso, com o objetivo de suprir as quantidades adequadas aos seres humanos e animais, estratégias adotadas como o uso da biofortificação são empregadas nos alimentos, visto que possui extrema importância, e assim inserindo o elemento na cadeia alimentar. O objetivo desta pesquisa é avaliar a aplicação foliar de fontes e doses de selênio na cultura da soja, visando componentes de: produtividade, teor de enxofre e proteína nos grãos da cultura. Foi instalado um experimento com a cultivar DM73i75 a campo comercial na safra 2020/2021. O experimento foi realizado com aplicação foliar de selenato de sódio e selenito de sódio, com 5 doses de selênio (0, 5, 10, 20 e 40 g ha<sup>-1</sup>), no estágio vegetativo V4 e reprodutivo R3. Componentes como: produtividade, quantidade de vagens, grãos, número de grãos por vagens, altura de plantas, número de nós reprodutivos e peso de mil grãos foram avaliados na área útil da parcela. As fontes e doses de Se, não influenciaram número de vagens por planta, número de vagens de um grão, número de vagens de três grãos e número de vagens com quatro grãos. A aplicação foliar de selenito, proporcionou: maior altura às plantas, aumentou o número de nós reprodutivos e o peso de mil grãos quando comparado ao selenato. O incremento da dose de Se tanto para selenato, quanto para o selenito proporcionaram diminuição do número de vagens com dois grãos. A aplicação foliar de selenato, em todas as doses avaliadas de 5 a 40 g ha<sup>-1</sup> de Se, possibilitou aumento no teor de proteína nos grãos de soja. A aplicação foliar de selenito, em todas as doses avaliadas de 5 a 40 g ha<sup>-1</sup> de Se, diminuiu o teor de enxofre nos grãos de soja.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, adubação foliar, selênio, qualidade de grãos.

## GENERAL ABSTRACT

Selenium (Se) is an essential element for humans and animals, but not important for plants. The element provides benefits, from prevention to various types of cancer, ability to increase the immune system and has antioxidant properties, being present in soil, water and food. Therefore, in some regions of the world this element is scarce, with the aim of supplying adequate amounts to humans and animals, strategies adopted such as the use of biofortification are employed in food, since it is extremely important, and thus inserting the element in the food chain. The objective of this research is to evaluate the foliar application of sources and doses of selenium in the soybean crop, targeting components of: productivity, sulfur and protein content in the grains of the crop. An experiment was installed with the cultivar DM73i75 in commercial field in the 2020/2021 harvest. The experiment was carried out with foliar application of sodium selenate and sodium selenite, with 5 doses of selenium (0, 5, 10, 20 and 40 g ha<sup>-1</sup>), in the vegetative stage V4 and reproductive stage R3. Components such as: productivity, number of pods, grains, number of grains per pod, plant height, number of reproductive nodes and weight of one thousand grains were evaluated in the useful area of the plot. Se sources and doses did not influence number of pods per plant, number of one-grain pods, number of three-grain pods and number of four-grain pods. The foliar application of selenite provided: greater height to the plants, increased the number of reproductive nodes and the weight of a thousand grains when compared to selenate. Increasing the Se dose for both selenate and selenite resulted in a decrease in the number of pods with two grains. The foliar application of selenate, at all doses evaluated from 5 to 40 g ha<sup>-1</sup> of Se, allowed an increase in the protein content of soybean grains. The foliar application of selenite, at all evaluated doses of 5 to 40 g ha<sup>-1</sup> of Se, reduced the sulfur content in soybean grains.

**Key-words:** Glycine max, foliar fertilization, selenium, grain quality.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O selênio (Se) é um elemento essencial para os humanos e animais, porém o elemento não é essencial às plantas. A ingestão adequada de Se, oferece benefícios aos seres humanos e animais, tais como: prevenção de cânceres, capacidade do aumento imunológico e atua como antioxidante. Como o teor deste elemento no solo em regiões tropicais é baixo devido ao intemperismo e a origem das rochas, conseqüentemente o teor encontrado nos alimentos fica abaixo da recomendação de ingestão (BARROW; WHELAN, 1989). Os teores de Se consumido pelas pessoas variam geograficamente, tornando assim, um elemento que causa deficiências nutricionais em humanos e animais devido a sua escassez em algumas regiões do mundo.

A cultura da soja é uma importante *commodity* para a economia do Brasil e de outros países e se destaca por ser um produto com alto teor de óleo e proteína, sendo empregada na alimentação humana e animal. A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma espécie exótica para o Brasil, com grande interesse socioeconômico, em função dos teores elevados de proteína (40%), óleo (20%), alta produtividade de grãos e possibilidade de adaptação a diferentes ambientes (ROCHA et al., 2012). Pode-se suplementar com Se a cultura para se obter melhor qualidade, nos teores do elemento em sua composição, tornando o grão mais forte.

Estudos apontam que, em concentrações adequadas, o Se pode ser benéfico às plantas, aumentando as produtividades, e otimizando resultados em algumas características agrônômicas. Por exemplo, altos rendimentos foram encontrados em trigo (DUCSAY et al., 2016), cenoura (OLIVEIRA et al., 2018), e arroz (ZHANG et al., 2014).

Contudo a biofortificação de Se na cultura da soja é uma estratégia que tem sido estudada para melhorar a nutrição humana e animal, e propicia diversos benefícios à cultura como: proteção contra raios UV, ações antioxidantes na planta, proteção contra patógenos e outros benefícios. Por outro lado, em altas concentrações, o Se pode ser tóxico para as plantas, as quais podem desenvolver sintomas de: baixo crescimento, clorose, inibição da síntese proteica e morte precoce (KAUR et al., 2014).

Objetiva-se com este trabalho avaliar diferentes fontes e doses de selênio nos componentes de produtividade da cultura da soja, e a influência da aplicação do elemento no teor de enxofre e proteína nos grãos da cultura.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Selênio na nutrição humana e animal**

O Se é um dos elementos essenciais para crescimento e funcionamento do metabolismo de humanos e animais, é usado para prevenção de doenças crônicas em humanos e outras doenças em animais e está envolvido no sistema antioxidante do organismo através da enzima glutathione peroxidase (MILLER et al., 1993; ROVER Jr. et al., 2001).

Em humanos, há evidências de que a deficiência de Se pode afetar a saúde de diversas formas: incluindo função imune, infecções virais, formação de anticorpos, reprodução, especialmente a fertilidade masculina, funcionamento da tireoide, asma e inflamações diversas (RAYMAN, 2000; RAYMAN, 2002).

A deficiência de Se na saúde humana e animal pode ser contornada através: da diversificação da dieta, suplementação alimentar, fortificação por indústria e pelo uso da biofortificação, técnica que consiste no aumento dos teores do elemento nas culturas agrícolas, pela sua introdução na adubação (biofortificação agrônômica) ou por melhoramento genético (biofortificação genética) que baseia-se: no uso das variações genótípicas, intra e interespecíficas, no melhoramento de plantas visando à obtenção de produtos agrícolas alimentares com maiores teores de nutrientes e vitaminas (RIOS et al., 2008; WELCH et al., 2008; WHITE; BROADLEY, 2009).

Focos de deficiência de Se foram identificados em várias regiões do mundo, inclusive no Brasil (MORAES et al., 1999), tornando indispensável a suplementação aos animais. Entretanto, a fonte de Se a ser suplementada apresenta diferenças se esta for orgânica ou inorgânica, estas relacionam-se ao diferente metabolismo inicial das duas formas do elemento.

Para reposição de Se na dieta e suplementação alimentar dos seres humanos e animais, pesquisadores utilizam a técnica e estudo da biofortificação como alternativa de inserir o elemento dentro da cadeia alimentar (WELCH et al., 2008).

### **2.2 Aspectos socioeconômicos da cultura da soja**

A soja [*Glycine max (L.) Merrill*] é a principal *commodity* agrícola brasileira, sendo a cultura que mais cresceu no país, nas últimas três décadas, em termos de produção e área cultivada, é fonte de matéria-prima para a indústria, alimentação humana e animal, sendo

assim, um produto importante para a economia do país. É uma das mais importantes culturas na economia mundial, seus grãos são usados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos, recentemente, vem crescendo também, o uso como fonte alternativa de biocombustível (COSTA NETO et al., 2000).

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais do grão, com área semeada de aproximadamente 40,9 milhões de hectares e produção de 123,8 milhões de toneladas, na safra 2021/2022. A produção brasileira na safra 2021/2022 atingiu novos patamares de produção, em relação ao período anterior (CONAB, 2021).

Na região Centro-Oeste do Brasil, 17,2 milhões de hectares foram cultivados com soja, com produtividade média de 3.450 kg ha<sup>-1</sup>, tornando-se assim, a principal região produtora do Brasil (CONAB, 2021). O estado de Goiás é o segundo maior produtor de soja do país, com 4,39 milhões de hectares semeados com soja na safra 2021/2022, resultando na produção de mais de 11,4 milhões de toneladas e produtividade de 3.958 kg ha<sup>-1</sup> sendo superior à média nacional (CONAB, 2022).

No estado de Goiás, o município de Rio Verde encontra-se entre os maiores produtores de soja do estado, na safra 2020/2021 produziu cerca de 175 mil toneladas, com uma área semeada de 410 mil hectares, apresentando rendimento médio de 3.600 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2021).

### **2.3 Selênio e metabolismo vegetal**

O metabolismo vegetal é o conjunto de reações químicas que ocorrem dentro de cada célula e, por meio de enzimas específicas, garante certa direção as reações químicas. Alguns dos elementos químicos, sendo essenciais ou não para os seres vivos, participam de funções importantes no metabolismo vegetal, como o Se e S (SANTOS, 2007).

As semelhanças físicas e químicas do Se e S ajudam a explicar a íntima associação entre o metabolismo do Se e do S nas plantas. Esses elementos fazem parte do grupo de elementos calcogênicos VI-A, com os estados de valência mais comuns de S e Se sendo -2, 0, +2, +4, +6 (SORS, ELLIS e SALT, 2005). O metabolismo de Se em plantas, requer para a maioria dos processos de biossíntese dos compostos orgânicos a participação de enzimas envolvidas na via de assimilação de S (NING et al., 2022).

Além das semelhanças apresentadas, o Se e o S têm similaridades quanto à absorção pelas plantas, compartilham o mesmo metabolismo primário nos vegetais e competem nos

processos de incorporação em selenoproteínas (WHITE, 2017). Com relação ao Se, existe em grande parte na forma de selenoaminoácidos e selenoproteínas em grãos de cereais. Por exemplo, 65% a 87% do total de espécies extraíveis de Se na farinha de trigo enriquecida com este elemento é composto de selenometionina (SeMet) e o restante consiste em selenocisteína (SeCys), Se metilselenocisteína, selenato e selenito (HART et al., 2011).

Tanto o selenato, quanto o sulfato são transportados através da membrana plasmática das células epidérmicas da raiz, contra seus gradientes eletroquímicos, sendo a absorção conduzida pelo transporte conjunto de três prótons para cada íon (LASS e ULLRICH-EBERIUS, 1984; HAWKESFORD et al., 1993).

Em relação à biofortificação com Se, embora os fertilizantes à base de selenato tenham um alto potencial para aumentar a absorção de Se pelas culturas, grandes aportes de fertilizantes com Se no solo nem sempre podem ser a opção mais sustentável adotada (BAÑUELOS et al., 2017; ROS et al., 2016).

## **2.4 O selênio e a biofortificação**

Diversos países vêm mostrando interesse em Se devido suas propriedades anticancerígenas e antioxidantes, principalmente dentro dos programas de biofortificação em diferentes tipos de alimentos e culturas (RIOS et al., 2010).

O Se é um elemento considerado escasso, com distribuição bastante irregular na crosta terrestre e, além do material de origem, seu teor no solo depende fortemente do regime hídrico de cada região, o que implica diretamente no intemperismo (HARTIKAINEN, 2005).

Há várias formas de Se encontradas na natureza. Selenato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) e selenito ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ) são formas inorgânicas solúveis em água, e representam as formas com maior potencial de biodisponibilidade e bioacumulação no ambiente (DUNGAN; FRANKENBERGER, 1999), são compostos orgânicos de Se: selenocisteína (SeCys) e selenometionina (SeMet) (WHITE et al., 2004), e as formas di-metil-seleneto, di-metil-diseleneto, dimethyl selenone, di-metilselenosulfureto, e metano-selenol são as formas voláteis do elemento (KAUR et al., 2014).

De acordo com KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1999) citado por MARTINEZ (2009), no solo, o Se é encontrado principalmente como: selenato e selenito, embora possam existir, também, selênio elementar, seleneto e formas orgânicas de selênio.

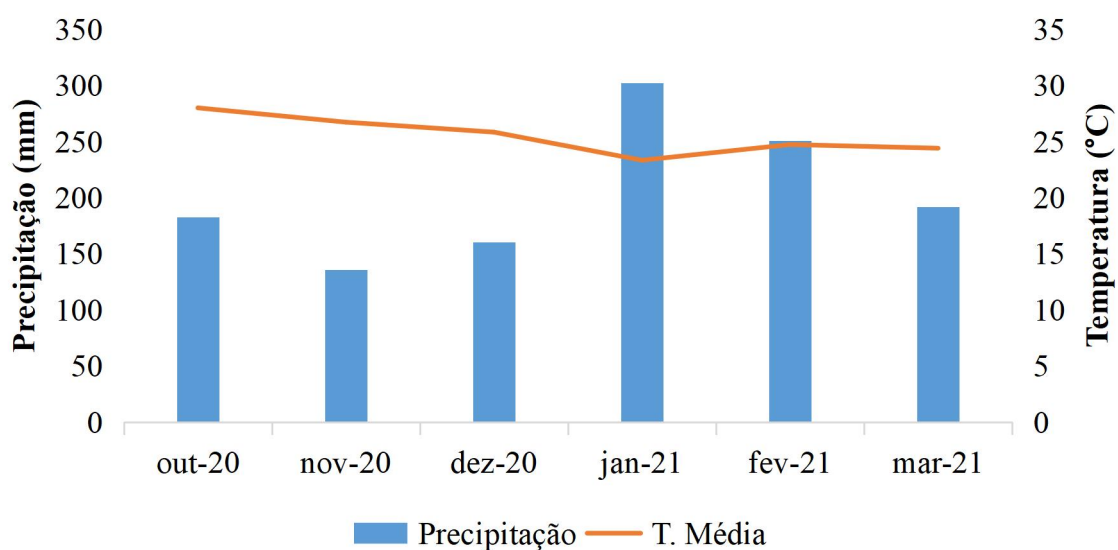
O programa de biofortificação de Se se mostra como uma vantagem para suprir as deficiências encontradas em diversas situações, além da cultura da soja o Se também é

empregado: no trigo, arroz, cenoura e outros alimentos, além de proporcionar aumentos significativos de produção e qualidade do produto para o consumidor (HAWRYLAK, 2004). A utilização da biofortificação com Se em plantas permite inserir o elemento na cadeia alimentar, tendo as plantas como aliadas, no sentido de atuarem no controle da ingestão excessiva e, ou, acidental, susceptível em humanos que fazem uso de suplementos alimentares contendo Se (HARTIKAINEN, 2005).

### 3 MATERIAL E METÓDOS

O ensaio foi realizado na área comercial da Fazenda Monte Alegre, no município de Rio Verde – GO. O experimento foi instalado em sistema de plantio direto, em área agricultável a mais de dez anos, com precipitação pluviométrica distribuída, durante os meses de setembro a abril, com média anual de 1663 mm, e temperatura média de 23° C. A semeadura foi realizada no dia 03 de novembro de 2020, com a cultivar DM 73i75 e população de 16 sementes por metro.

Na Figura 1 encontram-se os dados climáticos relacionados a temperatura média do ar e precipitações, durante o período de condução do experimento.



Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – Rio Verde – GO.

FIGURA 1. Temperatura média e precipitações observadas, durante o período de condução a campo, do experimento. Rio Verde (GO), 2020/2021.



As sementes de soja, foram inoculadas antes da semeadura com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se inoculante na proporção de 1.200.000 bactérias por semente.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x5, sendo duas fontes de Se: selenato e selenito e cinco doses de cada fonte: 0, 5, 10, 20 e 40 g ha<sup>-1</sup>, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. As unidades experimentais foram constituídas por seis linhas de 5 m, com espaçamento entre linhas de semeadura de 0,5 m. A área útil considerada para as avaliações, foram as quatro fileiras centrais, desprezando 0,5 m, nas duas extremidades da parcela.

A adubação de semeadura foi feita de acordo com a análise de solo (Tabela 1) e as interpretações de acordo com Ribeiro et al. (1999), sendo utilizado 150 kg ha<sup>-1</sup> de MAP 11-52-00 e 133 kg ha<sup>-1</sup> de KCL 60% em cobertura.

Tabela 1. Análise de solo da área experimental antes da instalação do experimento, profundidade 0-20 cm, realizada em março de 2021

<b>pH</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>		
<b>(CaCl<sub>2</sub>)</b>	<b>.....mg dm<sup>-3</sup>.....</b>		<b>.....cmolc dm<sup>-3</sup>.....</b>						
4,8	7,7	11,1	0,14	2,10	0,20	0,12	5,2		

<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Na</b>	<b>Zn</b>	<b>M.O</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
<b>..... mg dm<sup>-3</sup>.....</b>						<b>g dm<sup>-3</sup></b>	<b>.....%.....</b>		
0,3	0,9	38	13,1	2,3	2,8	23,7	36	7,5	56,5

P mel (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-003 - ICP-OES | Referência: EMBRAPA, 2009 - Mehlich I | L.Q.: 1,3 mg/dm<sup>3</sup>.  
 S (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-005 - ICP-OES | Referência: Vitti, G. C., 1989 - Acetano de Amônio + Ácido Acético | L.Q.: 0,5 mg/dm<sup>3</sup>.  
 K (cmolc/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-003 - ICP-OES | Referência: EMBRAPA, 2009 - Mehlich I | L.Q.: 0,004 cmolc/dm<sup>3</sup>.  
 Cu, Fe, Mn, Zn (mg/dm<sup>3</sup>) = POP-MET-003 - ICP-OES; DTPA: POP-MET-087 | Referência: Mehlich I: EMBRAPA, 2009; DTPA: IAC 2001 | L.Q.: 0,2 mg/dm<sup>3</sup>.

As doses de Se aplicadas em cada tratamento foram realizadas em duas épocas de aplicação dividindo-se a dose em duas partes: a primeira aplicação quando a cultura se encontrava no estágio vegetativo V4, e a segunda aplicação no estágio reprodutivo R.3. A aplicação foliar foi realizada com auxílio de um pulverizador a gás carbônico de pressão constante de 20 psi, utilizando um volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>.

O manejo de: plantas daninhas, pragas e doenças ocorreu conforme recomendação técnica e aplicações manejadas de acordo com a necessidade da fazenda, em sua área comercial, em função de levantamentos amostrais de incidência e severidade (Embrapa, 2013).

Ao final do ciclo da cultura foram realizadas avaliações dos componentes de produtividade da soja utilizando 5 plantas por parcela retiradas aleatoriamente na área útil. Foram avaliados o número de vagens por planta (NV) considerando todas as vagens com grãos nas cinco plantas, calculando-se a média de vagens por planta. Além do número de vagens por planta foram quantificadas as vagens contendo um grão (V1), vagens contendo dois grãos (V2), vagens contendo três grãos (V3) e vagens contendo quatro grãos (V4). Avaliou-se o número de nós reprodutivos por planta (NN), levando em consideração apenas os nós reprodutivos da haste principal. A altura de plantas (AP) foi mensurada no nível do solo até o ápice da planta.

A colheita da área útil das parcelas foi realizada manualmente, no dia 20 de fevereiro de 2021, posteriormente trilhadas utilizando trilhadeira experimental estacionária. Após a trilhagem, os grãos foram submetidos a pesagem, estimando a produtividade (PROD) em kg ha<sup>-1</sup> com posterior correção para o teor de umidade de 13%. Os grãos colhidos foram trilhados e colocados em sacos de papel kraft (54x44), em seguida determinou-se: a massa de mil grãos (MMG), teor de nitrogênio (NG), teor de enxofre (SG) e teor de proteína nos grãos (PROT). Para a determinação do PROT foi utilizado o valor do NG multiplicado pelo fator 6,25 (SILVA e QUEIROZ, 2002).

A determinação do NG, foi realizada após digestão com ácido sulfúrico pelo método de Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1997). O SG foi determinado após digestão nitro-perclórica (MALAVOLTA et al., 1997) em espectrofotômetro colorimétrico (Metash Instruments, V-500 Spectrophotometer, Xangai, China).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, os efeitos das fontes foram comparados utilizando teste de Tukey a 5% de probabilidade e para o efeito das doses foi utilizado regressão ( $p < 0,05$ ). Todas as análises foram realizadas com auxílio do software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para as variáveis: NV, V1, V3, V4, PROD não foram observados efeitos significativos entre os tratamentos.

Para as variáveis: NN, AP e MMG foi verificado apenas efeito significativo para as fontes de Se aplicadas. A variável V2 apresentou efeito significativo para as doses de Se aplicadas nas plantas avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância, para número de vagens (NV), número de nós reprodutivos (NN), altura de plantas (AP), vagens de um grão (V1), vagens de dois grãos (V2), vagens de três grãos (V3), vagens de quatro grãos (V4), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD)

FV	GL	QM								
		NV	NN	AP	V1	V2	V3	V4	MMG	PROD
Fonte (F)	1	0,24 <sup>ns</sup>	2,91*	42,84*	0,48 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	2,98 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	432,96*	90725,62 <sup>ns</sup>
Dose (D)	4	44,67 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	3,17 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	22,17*	7,49 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	16,09 <sup>ns</sup>	7007,71 <sup>ns</sup>
F x D	4	80,62 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	17,23 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	14,29 <sup>ns</sup>	18,69 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	48,84 <sup>ns</sup>	83782,15 <sup>ns</sup>
Bloco	3	43,33 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	97,02 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	4,22 <sup>ns</sup>	20,82 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	145,77 <sup>ns</sup>	53355,14 <sup>ns</sup>
Erro	27	39,51	0,73	12,95	0,74	8,34	21,17	0,57	71,84	43564,36
CV (%)		13,39	5,82	4,33	32,63	17,85	17,20	56,19	4,94	10,55

GL = Grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; QM = Quadrados médios.

\*\* = significativo a 1%; \* = significativo a 5%; ns = não significativo.

Observou-se efeito da interação entre fontes e doses de Se para as variáveis: NG, PROT e SG (Tabela 3)

Tabela 3. Resumo da análise de variância, para teor de proteína (PROT), nitrogênio nos grãos (NG) e enxofre nos grãos de soja (SG)

FV	GL	QM		
		PROT	NG	SG
Fonte (F)	1	0,05 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
Dose (D)	4	8,62 <sup>ns</sup>	22,03 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
F x D	4	12,92*	33,03*	0,18*
Repetição	3	5,74 <sup>ns</sup>	14,49 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
Erro	27	4,71	11,98	0,06
CV (%)		5,99	5,96	16,65

GL = Grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; QM = Quadrados médios.

\*\* = significativo a 1%; \* = significativo a 5%; ns = não significativo.

Plantas que receberam selenito tiveram maior número de nós e altura da planta (Tabela 4). Martinez et al. (2013) ao testar Se na cultura da soja observaram que, a aplicação do elemento via foliar, mesmo em pequenas doses, resultou em fitotoxidez nas folhas, e quanto maior a dose aplicada, maior o dano causado. Entretanto, na aplicação via solo, não foi identificada diferença significativa na altura de plantas e nem fitotoxidez nas folhas. O efeito mencionado não ocorreu em nenhuma fase de aplicação para as duas fontes de Se utilizadas nesse experimento. Para variável NV não há efeito significativo entre os tratamentos avaliados (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios para as características número de nós, altura de plantas, submetidas a fontes de selênio

Fonte de Se	Doses (g ha <sup>-1</sup> )					MÉDIA
	-----NN-----					
	0	5	10	20	40	
Selenato	14	13	15	14	14	14B
Selenito	15	15	15	15	14	15A
Média	14	14	15	14	14	14

Fonte de Se	-----AP (cm)-----					MÉDIA
	0	5	10	20	40	
Selenato	81	82	82	84	79	82B
Selenito	83	84	83	83	86	84A
Média	82	83	82	84	83	83

NN = número de nós reprodutivos por planta; NV = número de vagens por planta; AP = Altura de plantas. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05%).

Não houve efeito significativo em relação as variáveis: V1, V3 e V4 (Tabela 5). Para a variável V2, houve efeito significativo para doses, sendo apresentado por meio de regressão (Figura 2).

Com o aumento das doses, o número de vagens com 2 grãos foi diminuindo, independente da fonte de selênio aplicada (Figura 2).

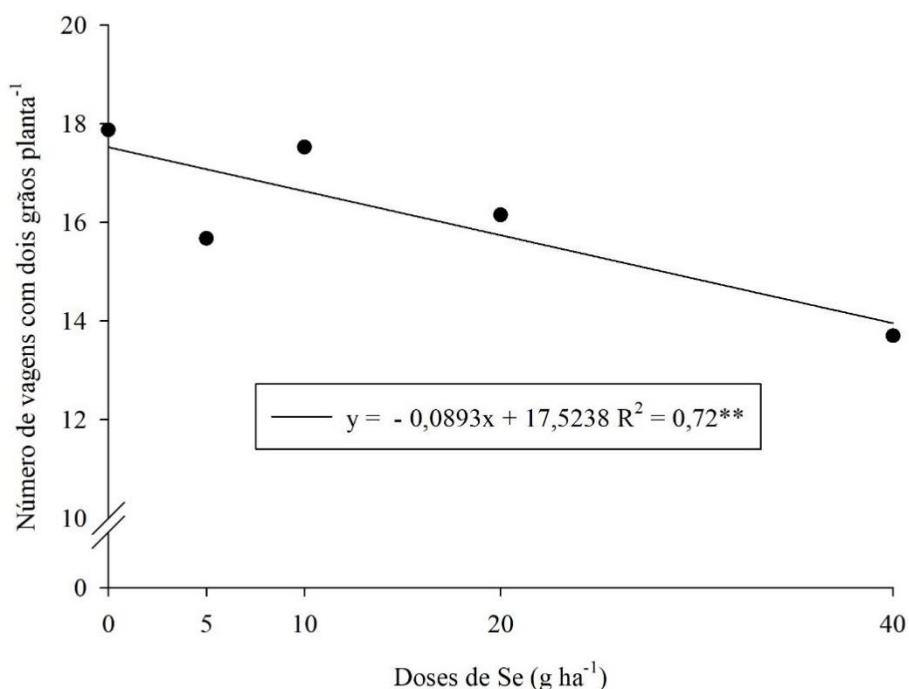


Figura 2. Número de vagens com dois grãos em função da aplicação de doses de selênio.  
\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Para a MMG, as plantas que receberam a aplicação foliar de selenito apresentaram maior massa quando comparada àquelas que foram adubadas com selenato. MARTINEZ (2013), relata que a biofortificação possui um grande potencial para aumentar a biodisponibilidade de elementos minerais, nos alimentos provenientes das culturas sem comprometer a produtividade delas, conseqüentemente melhoram aspectos agronômicos e aumentam a produção significativamente. Não houve efeito significativo em relação a PROD (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios para as características massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD), em função de fontes e doses de selênio

Fontes de Se	Dose (g ha <sup>-1</sup> )					MÉDIA
	----- MMG (g) -----					
	0	5	10	20	40	
Selenato	168,58	170,55	169,33	165,55	167,33	168 B
Selenito	172,98	174,00	170,73	176,58	179,95	175 A
Média	171	172	170	171	174	172
	----- PROD (kg ha <sup>-1</sup> ) -----					
	0	5	10	20	40	
Selenato	1948	1827	2076	1933	1866	1930
Selenito	2095	2136	1832	2035	2027	2025
Média	2021	1981	1954	1984	1946	1977

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05%).

Para a variável NG, o gráfico de regressão mostra comportamento linear crescente com o aumento das doses de Se para fonte selenato. Conforme ocorreu o aumento das doses de selenato, o NG aumenta. Para a fonte de selenito não houve ajuste significativo de regressão (Figura 3).

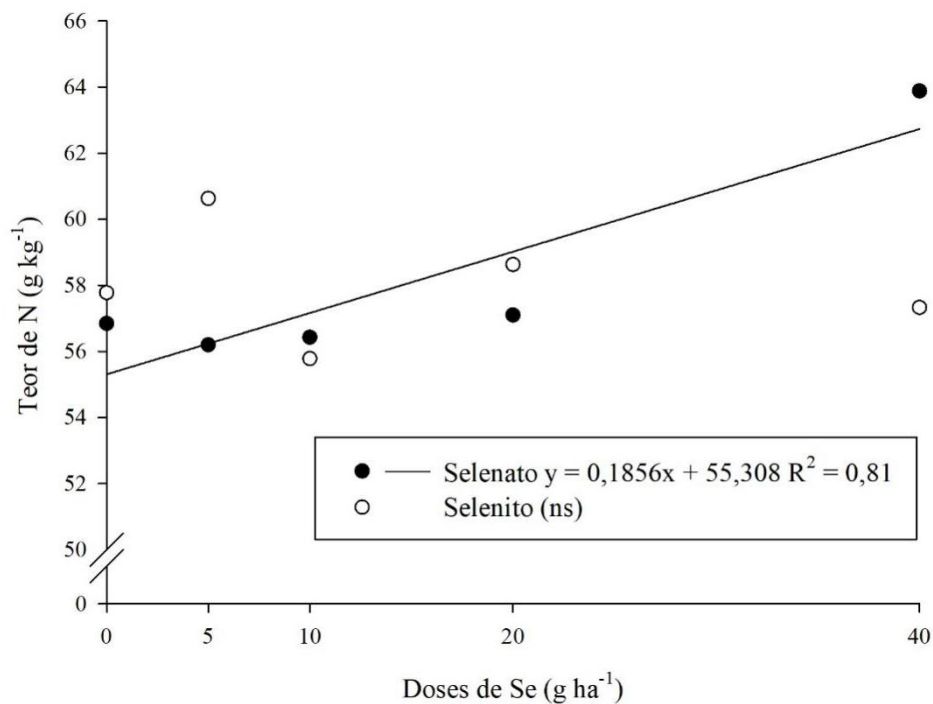


Figura 3. Teor de nitrogênio nos grãos de soja em função da aplicação de doses de selênio e das fontes selenato e selenito. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ns = não significativo.

O PROT teve um comportamento linear crescente com o aumento das doses de Se, para a fonte do selenato (Figura 4). O PROT reflete o mesmo comportamento relacionado ao NG, visto que o N é utilizado como matéria-prima para a formação de aminoácidos os quais dão origem às proteínas.

O aumento do teor de proteínas nos grãos é desejável para atender um mercado cada vez mais exigente quanto a qualidade dos produtos comercializados. Na safra 2016/17, o teor médio de proteína nos grãos de soja variou entre 32,03% e 41,35%, sendo possível receber uma bonificação por grãos de alto teor de proteína. A maioria dos compradores calcula o preço base nos valores da soja na bolsa de Chicago (JUNIOR e MATSUO, 2019).

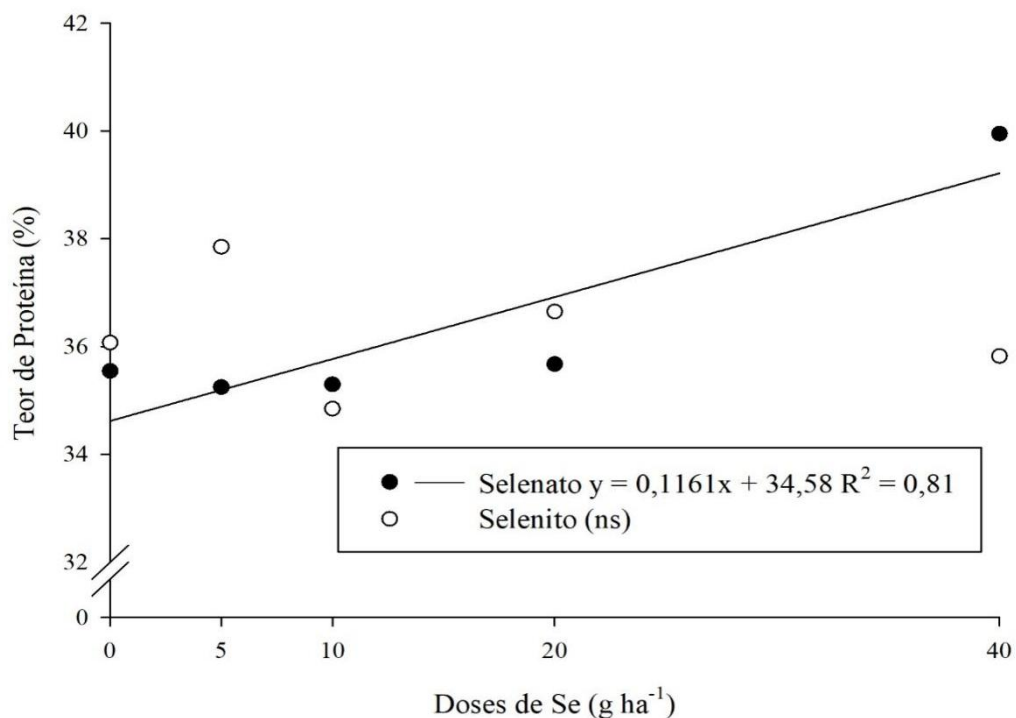


Figura 4. Comportamento do teor de proteína nos grãos de soja nas fontes de selenato e selenito em função da aplicação de doses de selênio. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Para variável SG, houve efeito linear decrescente com o aumento das doses de Se para fonte selenito (Figura 5), evidenciando efeito antagônico entre o S e o selenito. MARTINEZ (2013), verificou que em solos em que há menor disponibilidade de S, as plantas absorvem uma maior quantidade de Se, e dependendo do teor de Se disponível no solo, sua absorção pode ocasionar efeitos fitotóxicos às plantas. Por outro lado, quando são encontrados maiores teores de S no solo, ocorre um efeito antagônico entre os elementos, devido a menor taxa de absorção de Se, pelo bloqueio dos sítios de absorção.

Os teores de S indicados como baixos por MARTINEZ (2013), foram inferiores a 35 mg dm<sup>-3</sup>. Nos resultados obtidos neste experimento foi encontrado teor inicial de S no solo de 11 mg dm<sup>-3</sup>, portanto, não traria efeito antagônico entre S e Se via solo.

O antagonismo entre selenato e sulfato geralmente é relatado em plantas quando altas quantidades de selenato ou sulfato são usadas (LYI et al., 2005). Contudo, de acordo com Boldrin et al. (2012), Mikkelsen e Wan (1990), a interação sinérgica entre o selenato e o sulfato pode ocorrer em diversas espécies vegetais, em doses reduzidas de Se.

O efeito benéfico das baixas concentrações de selenato sobre os teores de S, é relatado frequentemente em pesquisas (Gonzalez - Moralez et al., 2017; Boldrin et al., 2012).

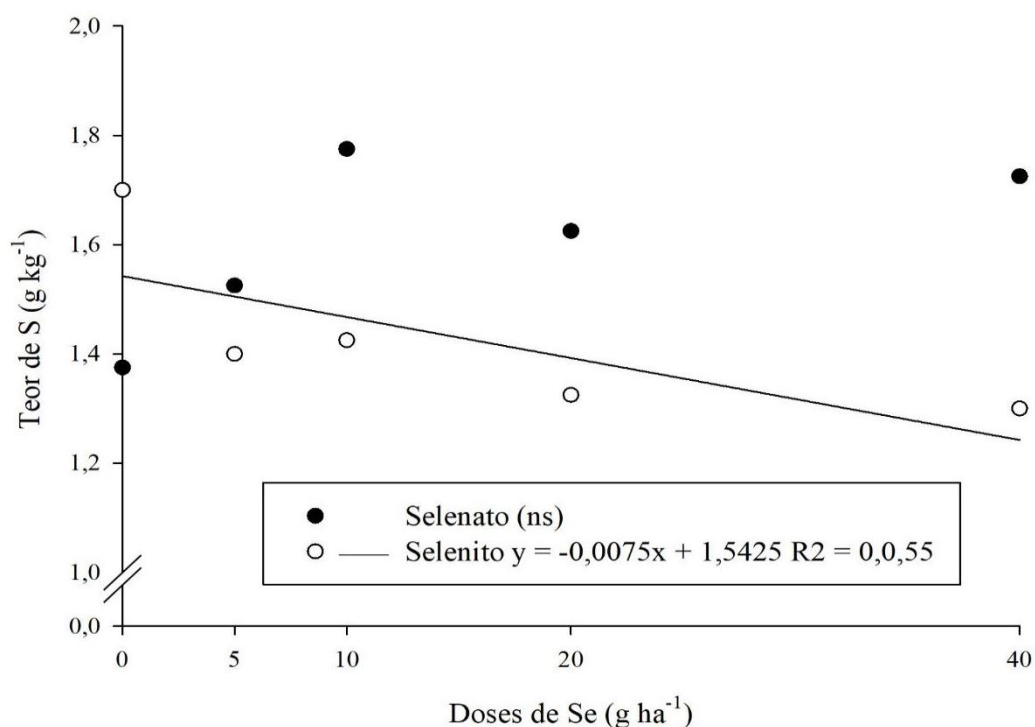


Figura 5. Comportamento do teor de enxofre nos grãos de soja nas fontes de selenato e selenito em função da aplicação de doses de selênio. \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Os resultados encontrados nesta pesquisa mostram o uso promissor do Se em cultivos de soja. O elemento pode promover melhorias em parâmetros de produtividade da cultura, podendo variar com as condições de: cultivo, cultivares e sistemas de manejo. O uso do Se, conforme suportado pelos resultados encontrados, promoveu aumento do NG e consequentemente do PROT, característica a ser considerada com atenção em pesquisas futuras, para que se busquem as explicações fisiológicas, enzimáticas e moleculares, que expliquem tais resultados, os quais podem impactar inclusive de forma financeira na comercialização dos grãos da cultura.

Além disso, faz necessário a exploração dos resultados do teor de Se nos grãos da cultura, para se entender o efeito da aplicação do elemento na biofortificação da cultura, podendo ser uma rota importante de entrada de Se no consumo de alimentos, tanto para humanos, quanto para os animais, considerando os produtos e subprodutos gerados pela agroindústria no processamento dos grãos de soja.

Segundo Cunha et al. (2023), a aplicação de selenato de sódio em soja no estágio vegetativo V2 promoveu maior número de nódulos com aumento quantificado da fixação biológica do N. Os autores demonstram que o Se afeta positivamente o metabolismo da cultura, com efeito antioxidante, o que aumenta a resistência das plantas ao estresse abiótico.



## 5 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa realizada chegou-se às seguintes conclusões:

A aplicação foliar de selenito de sódio, proporcionou: maior altura às plantas, aumentou o número de nós reprodutivos e peso de mil grãos, quando comparado ao selenato.

A aplicação foliar de selenato de sódio proporcionou aumento linear no teor de proteína, nos grãos de soja, em função do aumento da dose de Se até 40 g ha<sup>-1</sup>.

A aplicação foliar de selenito de sódio proporcionou diminuição linear, no teor de enxofre nos grãos de soja, em função do aumento da dose de Se até 40 g ha<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

BAÑUELOS, G. S., LIN, Z.-Q., & BROADLEY, M. Selenium biofortification. In E. A. H. Pilon-Smits, L. H. E. Winkel, & Z.-Q. Lin (Eds.), *Selenium in plants: Molecular, physiological, ecological and evolutionary aspects* (p. 231–255). **Springer International Publishing**. 2017.

BARROW, N. J.; WHELAN, B. R. Testing a mechanistic model. 7. The effects of pH and of electrolyte on the reaction of selenite and selenate with a soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 17–28, Mar. 1989.

BOLDRIN, P. F. et al. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n. 6, p. 831-837, jun. 2012.

CUNHA, M. L. O.; de OLIVEIRA, L. C. A.; MENDES, N. A. C.; SILVA, V. M.; VICENTE, E. F.; DOS REIS, A. R. Selenium Increases Photosynthetic Pigments, Flavonoid Biosynthesis, Nodulation, and Growth of Soybean Plants (*Glycine max* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. V. 23, p. 1397-1407, 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2018/19**. Brasília: Conab, v. 6, n. 11, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em 24 fevereiro de 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2020/21**. Brasília: Conab, v. 8, n. 4, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/fevereiro-2021>>. Acesso em 24 fevereiro de 2021.

COSTA NETO, P.R. & ROSSI, L.F.S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p.4, 2000.

DUCSAY, L., LOZEK, O., MARCEK, M., VARENYIOVA, M., HOZLAR, P., LOSAK, T. Possibility of selenium biofortification of winter wheat grain. **Plant Soil Environ.** 62, 379–383. 2016.

DUNGAN, R. S.; FRANKENBERGER, J. W. T. Microbial transformations of selenium and the bioremediation of seleniferous environments. **Bioremediation Journal**, Oxford, v. 3, n. 3, p. 171-188, 1999.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** – Região Central do Brasil 2014. – Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p. 21cm. – (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902; n.16)

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.

GONZALEZ-MORALES, S., et al. 2017. Selenium and sulfur to produce *Allium* functional crops. **Molecules** 558, 1-22.

HART, D. J., FAIRWEATHER-TAIT, S. J., BROADLEY, M. R., DICKINSON, S. J., FOOT, I., KNOTT, P., MCGRATH, S. P., MOWAT, H., NORMAN, K., SCOTT, P. R., STROUD, J. L., TUCKER, M., WHITE, P. J., ZHAO, F. J., & HURST, R. Selenium concentration and speciation in biofortified flour and bread: Retention of selenium during grain biofortification, processing and production of Se-enriched food. **Food Chemistry**, 126, 1771–1778. 2011.

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 18, p. 309-318, 2005.

HAWKESFORD, MJ., DAVIDIAN, J., C & GRIGNON, C. Cotransporte de sulfato/próton em vesículas de membrana plasmática isoladas de raízes de *Brassica napus* L.: transporte aumentado em membranas isoladas de plantas com falta de enxofre. **Planta** 190: 297–304. 1993.

HAWRYLAK, B.; SZYMANSKA, M. Selenium as a sulfhydrylic group inductor in plants. **Cellular & Molecular Biology Letters**, v. 9, n. 2, p. 329-336, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/pesquisa/14/10193?tipo=grafico>>. Acesso em: 22 fevereiro 2023.

JUNIOR, R. M., MATSUO, E., **Revista campo e negócio**. Teor de proteína é diferencial competitivo na soja. Disponível em:<<https://revistacampoenegocios.com.br/teor-de-proteina-e-o-diferencialcompetitivo-na-soja/>>. Acesso em: 22 fevereiro 2023.

KAUR, N. et al. Selenium in agriculture: a nutrient or contaminant for crops? **Archives of Agronomy and Soil Science**, Easton, v. 60, n. 12, p. 1593–1624, Apr. 2014.

LASS, B., e ULLRICH-EBERIUS C, I. Evidência para o cotransporte próton/sulfato e sua cinética em *Lemna gibba* G1. **Planta** **161**: 53–60. 1984.

LYI, S. M.; HELLER, LI.; RUTZKE, M.; WELCH, R. M.; KOCHIAN, L. V.; LI, L. Molecular and Biochemical Characterization of the Selenocysteine SeMethyltransferase Gene and Se-Methylselenocysteine Synthesis in Broccoli. **Plant Physiology**, New Delhi, v.135, p. 409-420, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS 1997.

MARTINEZ, R., A., S. et al. **Doses e formas de aplicação de selênio na cultura da soja**. Dissertação mestrado – Universidade Federal de Lavras. p.63-113, 2009.

MARTINEZ, R., A., S. **Biofortificação da soja com selênio**. Tese doutorado – Universidade Federal de Lavras. P.63-113, 2013.

MILLER, J.K. et al. Oxidative stress, antioxidants, and animal function. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.2812-2823, 1993.

MIKKELSEN, R.L. e WAN, H.F. The effect of selenium on sulfur uptake by barley and rice. **Plant Soil**, 121:151-153, 1990.

MORAES, S.S. et al. Microelement deficiencies and imbalances in cattle and sheep in some regions of Brazil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.19, n.1, p.19-33, 1999.

NING, P., Fei, P., Wu, T., Li, Y., Qu, C., Li, Y., Shi, J., & Tian, X. (2022). Combined foliar application of zinc sulphate and selenite affects the magnitude of selenium biofortification in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food and Energy Security**, 11, e342.

OLIVEIRA, V.C., FAQUIN, V., GUIMARAES, K.C., ANDRADE, F.R., PEREIRA, J., GUILHERME, L.R.G. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia** **42**, 138–147. 2018.

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

RAYMAN, M. P. The importance of selenium to human health. **The Lancet**, London, v. 356, n. 9225, p. 233–241, July 2000.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999.

RIOS, J. J. et al. Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses forms of selenium. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 90, n. 11, p. 1914-1919, Aug. 2010. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/1p.1002/jsfa.4032/full>>. Acesso em: 22 fev. 2021.

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

ROCHA, R. S. et al. Desempenho agrônômico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 43, n. 1, p. 154-162, 2012.

ROS, G. H., VAN ROTTERDAM, A. M. D., BUSSINK, D. W., & BINDRABAN, P. S. Selenium fertilization strategies for bio-fortification of food: **An agro-ecosystem approach. Plant and Soil**, 404, 99– 112. 2016.

ROVER Jr., L. et al. Sistema antioxidante envolvendo o ciclo metabólico da glutathiona associado a métodos eletroanalíticos na avaliação do estress oxidativo. **Química Nova**, v.24, p.112-119, 2001.

SANTOS, R.I. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. In: SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMANN, G.; MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A.; PETROVICK, P.R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6.ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFSC/Editora da UFRGS, p. 403-434, 2007.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: Métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2002.

SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 86, n.3, p. 373-389, Dec. 2005. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11120-005-5222-9>>. Acesso em: 22 fev. 2021.

WELCH, R.M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B.J. (Ed.). **Micronutrient deficiencies in global crop production. New York: Springer**, 2008. cap.12, p.287-309.

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, London**, v. 182, n. 1, p. 49-84, 2009.

WHITE, P. J.; BOWEN, H. C.; PARMAGURU, P.; FRITZ, M.; SPRACKLEN, W. P.; SPIBY, R. E.; MEACHAM, M. C.; MEAD, A.; HARRIMAN, M.; TRUEMAN, L. J.; SMITH, B. M.; THOMAS, B.; BROADLEY, M. R. **Interactions between selenium and sulphur nutrition in Arabidopsis thaliana**. *J. Exp. Bot.* 55, 1927-1937, 2004.

WHITE, P. J. The genetics of selenium accumulation by plants. In E. A. H. Pilon-Smits, L. H. E. Winkel, & Z. Lin (Eds.), **Selenium in plants: Molecular, physiological, ecological and evolutionary aspects** (pp. 143–163). **Springer International Publishing**. 2017.

ZHANG, M., TANG, S., HUANG, X., ZHANG, F., PANG, Y., HUANG, Q., YI, Q. Selenium uptake, dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (*Oryza sativa* L.). **Environ. Exp. Bot.** 107, 39–45. 2014.