



JÉSSICA FRANCISCO RAYMUNDO

**INFLUÊNCIA DO FÓSFORO NA DISPONIBILIDADE DE
SELÊNIO NO SOLO E NA BIOFORTIFICAÇÃO
AGRONÔMICA DO CAPIM-MOMBAÇA**

LAVRAS – MG

2019

JÉSSICA FRANCISCO RAYMUNDO

**INFLUÊNCIA DO FÓSFORO NA DISPONIBILIDADE DE SELÊNIO NO SOLO
E NA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DO CAPIM-MOMBAÇA**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Curso
de Química, para a obtenção do título
de Licenciatura.

Prof. Dr. Guilherme Lopes

Orientador

Dr. Josimar Henrique de Lima Lessa

Coorientador

LAVRAS – MG

2019

JÉSSICA FRANCISCO RAYMUNDO

**INFLUÊNCIA DO FÓSFORO NA DISPONIBILIDADE DE SELÊNIO NO
SOLO E NA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DO CAPIM-MOMBAÇA**

**INFLUENCE OF THE PHOSPHORUS ON SELENIUM AVAILABILITY IN
THE SOIL AND ON BIOFORTIFICATION OF MOMBAÇA FORAGE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso de Química,
para a obtenção do título de Licenciatura.

Prof. Dr. GUILHERME LOPES	UFLA
Dr. JOSIMAR HENRIQUE DE LIMA LESSA	UFLA
Dra. CYNTHIA DE OLIVEIRA	UFLA

Prof. Dr. Guilherme Lopes

Orientador

Dr. Josimar Henrique de Lima Lessa

Coorientador

LAVRAS – MG

2019

À Deus.

Aos meus pais Antônio e Aliana.

À minha irmã Estefany.

Ao meu namorado Nelson.

Aos tios Fernando (in memorian) e Silmara.

A toda minha família e amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me encorajar, iluminar e tomar conta de todos os detalhes no meu caminho.

Aos meus pais, Antônio e Aliana, por toda motivação e esforço para realização deste sonho.

A minha irmã Estefany, por sempre me motivar a ser uma pessoa melhor.

Ao meu namorado Nelson, por todo amor, incentivo e companheirismo.

Aos tios Fernando e Silmara, por sempre acreditarem em mim e não me deixarem desistir.

Ao amigo Marcos Schinke, que foi como um pai durante esta estadia em Lavras.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de cursar minha graduação e ao Departamento de Ciências de Solo (DCS), pela oportunidade de participar como aluna de iniciação científica durante a graduação.

À FAPEMIG, CAPES e CNPq, pelos recursos destinados à execução do projeto. Ao programa PIBIC/UFLA, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao orientador, professor Guilherme Lopes, pela amizade, dedicação, paciência e todos os ensinamentos.

Aos amigos estagiários, Mateus, Danilo, Luís, Yasmim e Fábio presentes no grupo de pesquisa.

Ao meu coorientador e amigo Josimar, por toda dedicação e paciência. E a todos colegas de trabalho, Maria Jéssica, Ruby, Anderson, Gabrielly, Gustavo e Raul.

Ao meu amigo Ander, pelo incentivo, exemplo e amizade.

A TODOS MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O Selênio (Se) é um elemento essencial para seres humanos e animais. Entretanto, a baixa disponibilidade de Se em solos tropicais devido as fortes interações químicas deste elemento com a fase sólida do solo e outros elementos, afeta a sua disponibilidade para as plantas, que por consequência refletem em toda a cadeia alimentar. Relacionando-se as interações interelementos e sabendo-se que há uma forte interação entre o Se e o fósforo (P) quanto à adsorção no solo, a adição de fósforo ao solo pode aumentar a disponibilidade de Se para as plantas. Nesta perspectiva, objetivou-se com este trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de doses de P sobre a mobilidade e disponibilidade do selênio no solo, bem como, avaliar a biofortificação agronômica do capim-mombaça com Se fornecido via solo. Para os estudos, utilizou-se um solo de textura argilosa coletado na Universidade Federal de Lavras (UFLA), na camada de 0-20 cm de profundidade. Primeiramente, realizou-se o estudo de adsorção utilizando as seguintes doses de Se: 1, 2 e 4 mg L⁻¹ na forma de selenato de sódio (Na₂SeO₄) e 4, 8 e 16 mg L⁻¹ na forma de selenito de sódio (Na₂SeO₃ * 5H₂O). Posteriormente, realizou-se o estudo de dessorção utilizando-se as doses de P: 2,18; 4,36; 10,90 e 21,90 mg L⁻¹, na forma de fosfato de sódio (NaH₂PO₄). Posteriormente ao estudo de adsorção/dessorção, avaliou-se a biofortificação agronômica do capim-mombaça com Se. Este experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando delineamento inteiramente casualizado, aplicando-se 3 doses de Se e 4 doses de P, com três repetições. Cada unidade experimental constituiu-se de um vaso contendo 3 dm³ de solo. Após a correção da acidez do solo com calcário visando V = 60%, adicionou-se 0; 0,25 e 0,50 mg dm⁻³ de Se, na forma de selenato de sódio (Na₂SeO₄), permanecendo incubado por 90 dias. Após esse período, aplicou-se 100; 200; 300 e 400 mg dm⁻³ de P, na forma de fosfato de sódio (NaH₂PO₄). Aos 25 dias após a emergência das plântulas foi medido o índice SPAD e aos 43 dias fez-se o corte da parte aérea obtendo-se a massa fresca. Posteriormente, a massa fresca foi colocada em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 60°C por 48 h para obtenção da massa seca. O teor de Se na parte aérea da planta foi determinado no estrato oriundo da digestão ácida da massa seca em forno micro-ondas. Os resultados, de modo geral, demonstraram que a adsorção de Se aumentou linearmente com o incremento da dose de Se fornecida, sendo a adsorção de selenito 10 vezes maior que a adsorção de selenato no solo. A dessorção aumentou linearmente com a aplicação das doses de P para ambas as formas de Se, com destaque para a maior dessorção de selenato. Quanto ao experimento de biofortificação, observou-se que quanto maior a dose de Se e P aplicada ao solo, maior foi o teor de Se na planta. O índice SPAD e a massa seca da forrageira foram influenciados pelos tratamentos. Assim, conclui-se que o selenito tem maior capacidade de adsorção no solo comparativamente ao selenato e o P promoveu a maior dessorção de Se, na forma de selenato. A variação das doses de P no experimento de biofortificação promoveu o aumento da disponibilidade de Se no solo e contribuiu para o maior teor Se na parte aérea da planta de capim-mombaça.

Palavras-chave: Selenato; Selenito; Forrageira; Adsorção de Se; Dessorção de Se.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1. O selênio.....	10
2.2 Importância do Se para a nutrição humana e animal	10
2.3 O selênio e as plantas	13
2.4. Teor de selênio no solo	14
2.5. Biodisponibilidade e sorção de selênio em solos	16
2.6. Capim mombaça (<i>Panicum maximum</i>).....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Coleta e preparo do solo utilizado nos estudos de sorção e biofortificação agronômica do capim-mombaça.....	19
3.2. Estudo de sorção de selênio no solo	20
3.2.1 Adsorção de Se(VI) e Se(IV)	20
3.2.2. Dessorção de Se(VI) e Se (IV)	21
3.2.3. Análise de Se e P.....	21
3.3. Interação entre Se e P no solo e seus efeitos sobre a biofortificação agrônômica do capim-mombaça	21
3.3.1 Aplicação dos tratamentos	22
3.3.2 Corte da parte aérea das plantas	22
3.3.3 Digestão da massa seca e determinação do teor de Se	23
3.3.4. Controle de qualidade das medidas realizadas	23
3.3.5. Índice SPAD	23
3.3.6. Análise estatística dos dados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Sorção de selenato (VI) e selenito (IV) e sua dessorção com doses de fosforo ..	25
4.2 Biofortificação agrônômica do capim-mombaça	27
4.2.1. Variável massa seca.....	27
4.2.2. Acúmulo e teor de Se no capim-mombaça.....	28
4.2.3. Índice de SPAD em função de Se e P	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
6. CONCLUSÕES	32
7. REFERENCIAL TEÓRICO	33

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido mundialmente como um grande produtor agrícola, proveniente de sua larga capacidade de produzir alimentos, assim, sendo responsável por exportações de elevadas quantidades de alimentos para vários países. A região do Cerrado se destaca na produção, juntamente com a utilização de tecnologia associada à aplicação de corretivos e fertilizantes, simultaneamente com o clima tropical e a predisposição do solo para a cultivo de diferentes culturas (LESSA, 2015; ARAÚJO, 2016).

Apesar da larga produção de alimentos, tem se observado que nos últimos anos há uma elevada preocupação com a qualidade nutricional na alimentação (VIDAL et al., 2012), já que nem sempre estes alimentos são capazes de suprir as necessidades nutricionais da população humana e animal (COZZOLINO, 2007). Isso ocorre devido aos solos brasileiros serem pobres em alguns elementos essenciais à vida humana e animal, como por exemplo o selênio (Se) (CARVALHO, 2011; GABOS, ALLEONI; ABREU, 2014), que pode prevenir doenças como o câncer e doenças de Keshan e Kashin Beck (TAN et al., 2002).

Neste contexto, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2018) estabeleceu como uma das prioridades mundiais a segurança alimentar, que tem como meta garantir o direito à alimentação saudável de maneira sustentável. Um dos métodos utilizados para atingir este objetivo é a biofortificação agrônômica. Portanto, a utilização de Se nesta metodologia, pode reduzir os custos com saúde pública e também aumentar a expectativa de vida da população.

Já é de conhecimento que o Se é essencial para seres humanos e animais (RAYMAN, 2002), porém, não é essencial para as plantas, já que estas conseguem concluir seu ciclo de vida na ausência de Se (PILON-SMITS; QUINN, 2010). Apesar disso, alguns estudos demonstraram que as plantas biofortificadas com pequenas quantidades de Se permanecem fisiologicamente ativas por mais tempo, e conseqüentemente podendo aumentar sua produção (RIOS et al., 2010; BOLDRIN et al., 2012).

Entretanto, para se obter êxito na prática de biofortificação com Se, são necessários vários estudos para avaliar os fatores que podem afetar a transferência deste elemento do solo para as plantas, como por exemplo, comportamento sortivo, pH, aeração, disponibilidade de água, manejo, calagem e adição de fertilizantes de caráter aniônico (NAKAMARU, TAGAMI; UCHIDA, 2006; KABATA-PENDIAS;

MUKHERJEE, 2007; NAKAMARU, SEKINE; NUTRITION, 2008; SANTOS, 2018; SHAHID et al., 2018).

Em particular, a adição de fertilizantes incluindo nutrientes na forma aniônica, como fósforo (P), enxofre (S) e nitrato (NO_3^-) pode influenciar na absorção de Se pelas plantas. No estudo de Altansuvd et al. (2014), os autores avaliaram o efeito da fertilização fosfatada na transferência de Se para as culturas, e perceberam que o incremento de P em solos japoneses aumentou a dessorção de Se da fase sólida, realizando a troca de Se por P nos coloides do solo, assim aumentando a biodisponibilidade de Se para as plantas. Deste modo, torna-se indispensáveis estudos de sorção de Se envolvendo a interação com P, sendo a representação de situações reais de manejo do solo em áreas agrícolas brasileiras.

Nesta perspectiva, o estudo que avalia a influência da aplicação de P na disponibilidade de Se, propicia adquirir informações pertinentes a respeito do comportamento sortivo de Se, especialmente nos solos utilizados pela agricultura brasileira, os quais, em sua maioria, apresentam caráter oxidico. Diante do exposto, o presente objetivou-se com este trabalho: i) avaliar a adsorção de selênio, na forma de selenato e selenito, em um Latossolo altamente intemperizado de textura argilosa, e sua dessorção variando doses de P; ii) analisar o potencial de biofortificação agronômica do capim- mombaça quanto ao índice SPAD, produção de massa seca e teor e acúmulo de Se em relação a aplicação de doses de Se e P via solo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O selênio

O elemento químico selênio (Se) foi descoberto em 1817 pelo químico suíço Jons Jacob Berzelius, em uma lama vermelha encontrada em câmaras de chumbo, usadas na produção de ácido sulfúrico (LENZ; LENS, 2009).

Pertencente ao grupo dos calcogênios juntamente com o oxigênio (O) e o enxofre (S), o Se está localizado na coluna VIA da tabela periódica, com o número atômico 34 e massa molar $78,94 \text{ g mol}^{-1}$, apresentando-se em estado sólido nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

O Se normalmente é encontrado em quantidades-traço na crosta terrestre, com concentrações que variam entre $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ e $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Este elemento pode ser detectado em uma série de materiais terrestres, como rochas, água, solos, ar, animais e plantas (LENZ; LENS, 2009). Geralmente, na natureza, o Se está associado com metais, identificado em 50 minerais, sendo os mais comuns: a clockmanita (CuSe), ferroselita (FeSe), claustralita (PbSe), naumanita (Ag₂Se) (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Na indústria, o Se apresenta uma gama de aplicações, como fabricação de latão, confecção de equipamentos eletrônicos e fotográficos, artigos de impressão, antioxidante em óleos, na formulação de reagentes químicos, produção de plásticos, lubrificantes, vidros, catalisador em sínteses orgânicas, agente antifúngico em fármacos, presente também em pequenas quantidades em vitaminas, em rações animais e em agroquímicos em geral (DHILLON; DHILLON, 2003; FORDYCE, 2007). Segundo o *United States Geological Survey* (USGS, 2018), a aplicação mundial de Se em diferentes áreas são: 40% em metalurgia, 25% em fabricação de vidro, 10% em eletrônica, 10% em pigmentos e produtos químicos, 10% na agricultura e 5% em outros usos.

Na agricultura, o selênio tem um grande impacto social, já que sua utilização em fertilizantes auxilia suprir a carência deste elemento no organismo humano e animal. Na Finlândia, que em 1984, foi criado um programa visando aumentar os teores de Se na cadeia alimentar, por meio da adição de 15 mg kg^{-1} de Se em fertilizantes agrícolas (ALFTHAN et al., 2015). Esta estratégia também foi incrementada na Nova Zelândia e no Reino Unido (LYONS et al., 2009).

2.2 Importância do Se para a nutrição humana e animal

A essencialidade do Se foi determinada inicialmente para animais em 1957 por Schwarz e Foltz e apenas em 1979 confirmou-se a sua essencialidade para humanos. Esta descoberta ocorreu na região de Keshan na China (BROWN; ARTHUR, 2001; ALISSA, BAHIJRI; FERNS, 2003).

O Se apresenta a função de defesa antioxidante no sistema imunológico e no bom funcionamento do mesmo (HURST et al., 2013), já que faz parte da enzima glutathione peroxidase nos seres humanos e animais (ROTRUCK et al., 1973). O Se possui também as funções de efeito protetor contra o câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e na fertilidade masculina (BROWN; ARTHUR, 2001; VOLP et al., 2010).

A ingestão de Se varia em cada parte do mundo, sendo possível encontrar regiões onde as pessoas e animais apresentem deficiência do elemento e outras regiões que ocorre a ingestão acima do ideal, dessa maneira atingindo concentrações tóxicas que podem provocar problemas respiratórios, perda de cabelo e unhas, distúrbios do sistema nervoso e na pele, problemas dentários e paralisias (JOHNSON, FORDYCE; RAYMAN, 2010). A principal forma de aquisição de Se para o organismo é a alimentação, porém, também é possível ter contato pelo ar, água e a pele (ABREU et al., 2011).

Segundo a Academia Nacional de Ciência dos Estados Unidos (National Academy of Science of the United States), a ingestão recomendada é de 55 μg de Se por dia (BOYD, 2011), enquanto que as Sociedades de Nutrição Alemã, Austríaca e Suíça recomendam a ingestão de Se de acordo com a idade e o sexo (KIPP et al., 2015) (Tabela 1).

Tabela 1. Valores recomendados para o consumo adequado de selênio para seres humanos.

Faixa etária	Recomendação de Se (μg pessoa⁻¹ dia⁻¹)	
Recém-nascidos e crianças		
0 - 4 meses	10	
4 - 12 meses	15	
1 - 4 anos	15	
4 - 7 anos	20	
7 - 10 anos	30	
10 - 13 anos	45	
Adolescentes	Sexo masculino	Sexo feminino
13 - 15 anos	60	60

15 - 19 anos	70	60
Adultos	Sexo masculino	Sexo feminino
19 - 25 anos	70	60
25 - 51 anos	70	60
51 - 65 anos	70	60
Acima de 65 anos	70	60
Gestantes	60	
Lactantes	75	

Fonte: adaptado de Kipp et al. (2015).

Estudos feitos em diferentes lugares do mundo mostraram que há uma baixa ingestão de Se pela população em diferentes estágios da vida (ADAME et al., 2012; CHAN et al., 2012; HURST et al., 2013). Alguns estudos também mostraram que no Brasil a ingestão diária de Se é largamente variável devido a aspectos como, região geográfica, classe social e idade do indivíduo (MAIHARA et al., 2004).

Estima-se que a deficiência em Se na população humana atinja cerca de 0,5 a 1 milhão de pessoas no mundo (COMBS, 2001). A baixa ingestão deste elemento, está diretamente relacionada a doença de Keshan, a qual correlaciona com problemas cardíacos, e a doença de Kashin-Beck, que é caracterizada por alterações patológicas das articulações e músculos em todo o corpo dos pacientes, sendo estas doenças muito comuns em algumas regiões da Ásia (TAN et al., 2002; XIONG et al., 2010).

Na China, Tan Et Al. (2002) avaliaram a associação entre o teor de Se no solo e as doenças de Keshan e Kashin-Beck. Esses autores averiguaram que existe uma forte relação entre os baixos teores de Se no solo e a ocorrência dessas doenças em seres humanos em algumas províncias da China. Também constatou-se que as regiões onde o teor de Se é menor que $0,175 \text{ mg kg}^{-1}$, a população apresentava maior índice dessas doenças.

No Brasil são poucos os estudos com Se na agricultura, entretanto, atualmente, há uma preocupação maior de uma possível deficiência deste elemento na população e alguns estudos tem sido realizados (FERREIRA et al., 2002; MARTINEZ et al., 2009; RAMOS et al., 2011; BOLDRIN et al., 2012; RAMOS et al., 2012; SILVA et al., 2012; BOLDRIN et al., 2013; GABOS et al., 2014; ALFTHAN et al., 2015; LARA, 2016; MATOS et al., 2017; REIS et al., 2017; ANDRADE et al., 2018; ARAUJO et al., 2018;

MIRLEAN et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018; LESSA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019; VENKATAKRISHNAN, CHIU; WANG, 2019).

A principal forma de nutrição de Se para humanos é a alimentação, podendo consumi-lo na forma orgânica ou inorgânica. Quando este elemento se encontra em formas orgânicas, estas são mais biodisponíveis para humanos, no entanto uma alternativa seria o consumo deste em formas inorgânicas, como por exemplo, por meio da suplementação com cápsulas farmacêuticas, porém é importante ressaltar que neste tipo de suplementação inorgânica a quantidade de Se assimilada pelo organismo humano é baixa, além de ser inacessível para a maior parte da população, devido ao elevado preço destes suplementos (RAYMAN et al., 2008).

2.3 O selênio e as plantas

O Se não é caracterizado como um elemento essencial para a nutrição vegetal, já que as plantas conseguem concluir seu ciclo de vida sem a sua presença (PILON-SMITS; QUINN, 2010). Entretanto, mesmo não sendo considerado essencial às plantas, alguns estudos têm apresentado efeito benéfico do Se. Segundo Rios et al. (2010), o Se pode favorecer tanto o crescimento, quanto ao estado nutricional de plantas vasculares. Além dessas funções, o Se também apresentar importante proteção antioxidante em plantas (DJANAGUIRAMAN et al., 2005).

Os teores de Se em alimentos de origem vegetal são variáveis e dependentes de fatores como, tipo do solo onde foram cultivadas e a capacidade da espécie de absorver e acumular Se (MAIHARA et al., 2004; CUBADDA et al., 2010). Com base nas concentrações de Se no tecido das plantas, essas podem ser classificadas em três grupos principais: não acumuladoras ($<50 \text{ mg kg}^{-1}$), acumuladoras ($50\text{-}1000 \text{ mg kg}^{-1}$) e hiperacumuladoras ($1000\text{-}15000 \text{ mg kg}^{-1}$) (MAYLAND et al., 1989; WINKEL et al., 2015; SAHA, FAYIGA; SONON, 2017).

Além destes aspectos intrínsecos ao solo e a planta, ressalta-se que a forma química do Se também acarreta grande importância na sua biodisponibilidade. As diferentes formas químicas deste elemento no solo apresentam propriedades específicas no que diz respeito à mobilidade, biodisponibilidade, absorção e toxicidade (HAMILTON, 2004; ZWOLAK, ZAPOROWSKA, 2012). Segundo White et al. (2004), as raízes podem absorver Se como Se (VI), Se (IV) ou compostos orgânicos.

A presença de ânions competidores no solo, especificamente ânions como sulfato e fosfato, podem afetar a absorção de Se pelas plantas (SHAHID et al., 2018). O Se na

forma de Se (VI) é conduzido por transportadores de sulfato de alta afinidade, por meio da membrana plasmática das células da raiz (HAWKESFORD; ZHAO, 2007), já o Se (IV) é carregado por transportadores de fosfato (LI, MCGRATH; ZHAO, 2008). Um estudo de biofortificação de plantas de arroz, realizado por Boldrin et al. (2012), constatou que a aplicação de Se via solo, na forma de Se (VI), propiciou maior eficácia na absorção, no aproveitamento pela planta, na translocação para a parte aérea e por consequência maiores teores de Se nos grãos, quando comparado com Se na forma de Se (IV).

No entanto, deve-se ter cautela ao cultivar em solos com altos teores de Se ou mesmo a adição demasiada deste no solo, já que, o limite entre a deficiência e a toxidez de Se em seres humanos e animais é muito pequeno (FORDYCE, 2007).

Considerando a importância do Se para humanos e animais, a busca por estratégias visando aumentar o teor deste elemento em culturas alimentares tem apresentado bastante relevância nos últimos anos. Dentre essas estratégias, a aplicação de Se via fertilizante mineral (e.g., biofortificação agrônômica) em regiões deficientes, como Finlândia, Nova Zelândia e Reino Unido tem sido exploradas, obtendo resultados positivos (WINKEL et al., 2015).

2.4. Teor de selênio no solo

Os teores de Se nos solos do mundo variam entre 0,05 e 1,5 mg kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). No entanto, a concentração de Se depende dos fatores de formação do solo, onde o processo de erosão de rochas é a forma predominante de fonte natural de Se (ROSENFELD; BEATH, 2013). Deste modo, o Se pode ser encontrado em depósito de sedimentos, associado a rochas máficas, matéria orgânica ou à fração argila (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

É possível encontrar o Se no solo em formas orgânicas e várias inorgânicas, como selênio elementar (Se⁰), seleneto (Se²⁻), selenito (SeO₃²⁻) e selenato (SeO₄²⁻). Estas formas de Se são diretamente influenciadas por diferentes propriedades físico-químicas, tais como: processos biológicos, potencial de oxidação e pH (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007; JEŽEK et al., 2012).

Em áreas onde o solo apresenta condições conveniente para cultivo e crescimento vegetal, as formas de SeO₃²⁻ e SeO₄²⁻ são predominantes (ARAUJO et al., 2018). Entretanto, nas plantas é comum encontrar o Se na forma orgânica, como selenometionina ou selenocisteína, sendo a última, a principal forma que os animais ingerem o Se na natureza (COMBS; COMBS, 1986).

Estudos realizados para determinar o teor total de Se em solos, tem ganhado grande relevância ao redor do mundo, principalmente em países que reverenciam a importância do Se em relação a saúde humana e animal (ARAÚJO, 2016). Algumas regiões podem apresentar elevadas concentrações de Se como por exemplo, os solos da Rússia (8.000 mg kg⁻¹) ou baixas concentrações como na China e na Finlândia (0,005 mg kg⁻¹) (MORA et al., 2015).

No Brasil, tem-se realizado alguns estudos para determinar o teor de Se no solo, como mostrado nas pesquisas realizadas por Moraes et al. (2009) e Carvalho et al. (2019), apresentado na Tabela 2, onde ficam evidentes as variações das concentrações médias de Se em diferentes solos de algumas regiões brasileiras.

Tabela 2. Teores de Se em alguns solos do Brasil.

Local	Teores de Se (µg kg⁻¹)	Referências
Matão	2,3-15	FARIA (2009)
São Paulo	0-800	PAIVA NETO & GARGANTINI (1956)
São Paulo	38-212	ANNO (2001)
Itirapina	0-0,26	FARIA (2009)
Goiás	1-8	FICHTNER et al. (1990)
Piracicaba	5-155	FARIA (2009)
Cerrado Brasileiro	10-80	CARVALHO (2011)
Piracicaba	90-206	FARIA (2009)
Piracicaba	0-90	FARIA (2009)
Analândia	0-25	FARIA (2009)
Pirassununga	0	FARIA (2009)
Pirassununga	0-59	FARIA (2009)
São Paulo	93 - 127	GABOS (2014)
Vale do Jequitinhonha	300 - 597	MATOS (2017)
Goiás	22 - 72	CARVALHO (2019)
Noroeste de Minas	32 - 53	CARVALHO (2019)
Triângulo Mineiro	34 - 57	CARVALHO (2019)

Fonte: Adaptado de Paiva Neto & Gargantini (1956); Fichtner (1990); Anno (2001); Faria (2009); Moraes et Al. (2009), Carvalho (2019).

Nesta perspectiva, as pesquisas no Brasil envolvendo Se tem mostrado a relevância de se conhecer o teor deste no solo e na planta, assim como os fatores que induzem a transferência do elemento no sistema solo-planta-humanos, dessa maneira almejando aumentar a disponibilidade de Se para os alimentos (BOLDRIN et al., 2012; RAMOS et al., 2012; BOLDRIN et al., 2013; LARA, 2016; JUNIOR et al., 2017; LESSA et al., 2019).

2.5. Biodisponibilidade e sorção de selênio em solos

A biodisponibilidade de Se está relacionada diretamente com as formas que este elemento se encontra no meio e dos processos que afetam a mobilidade deste no solo, tais como a interação iônica, precipitação e sorção (LOPES, ÁVILA; GUILHERME, 2017). Esses processos dependem das condições do solo, como pH (FORDYCE, 2013), matéria orgânica, condições redox, textura, condições biológicas (microbianas), teor total de Se (WINKEL et al., 2015; SAHA et al., 2017; SHAHID et al., 2018) e da presença de ânions competidores, como fosfato e sulfato (NAKAMARU et al., 2006; GONZÁLEZ-MORALES et al., 2017).

Sabendo da relevância de compreender as formas químicas do Se no solo em relação a sua biodisponibilidade (SANTOS, 2018), um dos mecanismos que afetam essa translocação de Se para as plantas é a adsorção, a qual é um dos processos químicos mais importantes para o transporte de nutrientes e contaminantes em solos (SPARKS, 2003).

A adsorção pode ser definida como o acúmulo de uma substância ou de material numa interface entre a superfície sólida e a solução (SPARKS, 2003). Neste sentido, a compreensão de fatores que influenciam na sorção e conseqüentemente na mobilidade e disponibilidade de Se no solo é de grande importância (HUANG et al., 2015; YASIN et al., 2015).

Na literatura há vários estudos de sorção de Se realizados com solos em diversos países como China, Japão, Índia e Singapura (GOH; LIM, 2004; NAKAMARU, TAGAMI; UCHIDA, 2005; NAKAMARU et al., 2006; NAKAMARU et al., 2008; LESSA, 2015; LI et al., 2015; ARAUJO et al., 2018). Em vários destes estudos, é possível observar que há diferentes tipos de adsorção, tanto em sua superfície de adsorção quanto à forma química do Se. Nestas pesquisas, o selenito (SeIV) tem mostrado uma forte tendência em formar complexo de esfera interna em todos os materiais sorventes estudados, já o selenato (SeVI) tende a formar preferencialmente complexo de esfera externa, com uma molécula de água entre o ânion e a superfície adsorvente. Alguns

fatores podem influenciar no (SeIV) para formação de esfera interna, como a concentração de solução eletrolítica e o pH (HAYES et al., 1988; MARTINEZ et al., 2006; PEAK; SCIENCE, 2006; ARAÚJO, 2016).

No Brasil, alguns estudos analisando a sorção de Se em alguns solos do Estado de São Paulo (GABOS et al., 2014) e Cerrado (LESSA et al., 2016) mostraram que solos de textura média ou arenosos tendem a reter menos selenato, já os solos mais intemperizados e com maior teor de argila manifestam maior afinidade pelos íons selenato.

Lessa et al. (2016), avaliaram a adsorção e dessorção de selênio em solos não cultivados do Cerrado e constataram que os mesmos apresentaram maior capacidade máxima de adsorção de Se (CMA-Se variando de 8,06 a 17,86 mg kg⁻¹) quando comparado com solos cultivados, este fenômeno pode ser explicado pela ocupação de partes dos sítios sortivos por ânions, particularmente por fertilizantes fosfatados adicionados ao solo. Neste contexto, ressalta-se a importância da adubação fosfatada na contribuição da biodisponibilidade de Se (SANTOS, 2018).

A adição de Se nos fertilizantes, com intuito de aumentar o teor deste elemento no solo e por consequência nas culturas agrícolas, é muito pertinente, já que é uma estratégia válida para aumentar a ingestão natural de Se pela população brasileira por meio de alimentos biofortificados. Todavia, para ter êxito com essa prática, são necessários vários estudos para compreender o comportamento sortivo do Se nos solos, para que sejam definidas as doses seguras para serem acrescentadas aos fertilizantes (LOPES et al., 2017).

2.6. Capim mombaça (*Panicum maximum*)

Para a produção e exploração pecuária em sistemas de pastagem, o Cerrado brasileiro apresenta condições favoráveis para esse fim (FREITAS et al., 2005). Estima-se que a área de pastagem cultivada chega a 49,5 milhões de hectares, sendo o estado de Goiás o que possui maior extensão de pastagens cultivadas (14,2 milhões de ha) (SANO, BARCELLOS; BEZERRA, 1999).

A importância das pastagens pode ser facilmente identificada, já que constituem a base dos sistemas de produção de bovinos (FREITAS et al., 2005), e isso evidencia a necessidade de estudos visando estratégias para aumentar a disponibilidade de nutrientes na planta, para conseqüentemente chegar ao animal.

Panicum maximum foi indicada como forrageira em 1993, podendo apresentar uma produção de até 41 t ha⁻¹ de massa seca, possui em média 4 folhas vivas por perfilho,

além de ser mais produtiva e apresentar uma menor sazonalidade de produção quando comparada a outras forrageiras do mesmo gênero. Este capim-mombaça pode chegar, em crescimento livre, até dois metros de altura (JANK et al., 2008).

Essa forrageira mostra pouca tolerância à seca, sensibilidade a solos ácidos e requer solos com alta fertilidade, particularmente em fósforo. Sua digestibilidade é acima de 60%, seu teor de proteína é de 6% no inverno e 15% no verão. A temperatura ótima para seu crescimento é entre 30 e 35°C (RODRIGUEZ et al., 2005; ARAÚJO, 2019).

O capim-mombaça é uma das principais forrageiras produzidas em regiões com o clima subtropical e tropical. Apresenta grande valor devido a elevada capacidade de produção de massa seca, qualidade de forragem, facilidade de estabelecimento e preferência pelos animais (TORRES et al., 2015; ARAÚJO, 2019).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta e preparo do solo utilizado nos estudos de sorção e biofortificação agronômica do capim-mombaça

Para a realização deste trabalho, utilizaram-se amostras um solo, o qual foi coletado na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em uma área nativa, sob mata preservada, com o mínimo de interferência antrópica, proveniente da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras – MG (coordenadas geográficas 21°13'44,9"S e 44°57'56,5"O).

Após a coleta, o solo foi transportado para o Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras onde foi preparado para os estudos de sorção em laboratório e biofortificação em casa de vegetação. Para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), os solos foram secos, destorroados e peneirados em condições ambiente. Após esses procedimentos realizou-se a análise física e química em amostras, conforme as recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (TEIXEIRA et al., 2017) e os resultados estão apresentados na tabela 3.

A textura do solo foi obtida após a dispersão das partículas com NaOH. As frações argila e silte foram determinadas pelo método de Bouyoucos e a fração areia, por peneiramento em malha de 0,053 mm. Nas análises químicas, determinou-se o pH na suspensão do solo: água de 1:2,5 . Fósforo (P), potássio (K), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu) foram extraídos com solução Mehlich 1. Cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) foram extraídos com solução KCl 1,0 mol L⁻¹. O Al^{3+} foi medido pela titulação com NaOH, e Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrometria de absorção atômica. O teor de matéria orgânica (MO) foi obtido indiretamente por meio do teor de carbono orgânico, obtido por oxidação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e titulação com sulfato ferroso. O boro (B) e o enxofre (S) foram determinados pelos métodos de turbidimetria e colorimetria (método usando curcumina), respectivamente. A acidez potencial (H + Al) foi estimada indiretamente, por meio do pH SMP.

A partir dos resultados dos atributos mencionados acima, foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva (t) e a pH 7 (T), a saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m).

Tabela 3. Atributos do solo utilizado no estudo.

pH	K	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al	SB	T	V	m	MO
	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----		
4,6	0,2	0,5	0,3	1,2	11,6	0,9	12,5	7,2	57,1	1,35
P	S	Se	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Argila	Silte	Areia
	----- mg dm ⁻³ -----							----- % -----		
1,8	13,4	0,3	1,3	171,3	6,6	1,7	0,2	61	11	28

Fonte: Do Autor.

3.2. Estudo de sorção de selênio no solo

O estudo de sorção de Se foi realizado por Santos (2018) como parte da sua dissertação de mestrado, para compreender o comportamento do Se no solo e suas respectivas interações aniônicas com P. Este trabalho foi essencial para o posterior estudo de biofertilização agrônômica do capim-mombaça em casa de vegetação.

3.2.1 Adsorção de Se(VI) e Se(IV)

Para realização do estudo de adsorção de Se, pesou-se 2,0 g de solo em tubos de centrífuga tipo falcon de 50 mL, adicionando-se em seguida, 20 mL de solução contendo Se nas concentrações de 1, 2 e 4 mg L⁻¹ na forma de selenato de sódio (Na₂SeO₄) e 4, 8 e 16 mg L⁻¹ na forma de selenito de sódio (Na₂SeO₃*5H₂O) preparadas em solução eletrolítica de fundo, em triplicata, conforme realizado por Santos (2018).

A solução eletrolítica de fundo foi preparada com cloreto de sódio (NaCl) a 15 mmol L⁻¹. Ressalta-se que, a adoção do valor de pH de 5,5 da solução de sorção correspondem a força iônica da solução do solo de cultivo das principais culturas agrícolas do Brasil (SANTOS, 2018). O pH da solução eletrolítica contendo o Se foi corrigido para 5,5 ± 0,2, com adição de ácido clorídrico (HCl), ou hidróxido de sódio (NaOH), ambos na concentração de 0,1 mol L⁻¹.

Após a adição da solução contendo o Se aos tubos com o solo, realizou-se a agitação durante 24 horas (tempo estimado para reação de adsorção). Em seguida, a suspensão foi centrifugada a 2300 rpm por 20 minutos, afim de separar o sobrenadante para posterior análise (SANTOS, 2018).

A quantidade de Se adsorvida (mg kg⁻¹) nas amostras de solo foi calculada pela equação 1:

$$Se_{ads} = \frac{(C_i - C_e)V}{M_s} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Se_{ads} é a quantidade de Se adsorvida no solo ($mg\ kg^{-1}$); C_i é a concentração inicial de Se na solução ($mg\ L^{-1}$); C_e é a concentração de Se na solução em equilíbrio após 24 h de reação com o solo ($mg\ L^{-1}$); V é o volume final (L); e M_s , é a massa do solo (kg).

3.2.2. Dessorção de Se(VI) e Se (IV)

Utilizou-se o material remanescente da adsorção para realização da dessorção, a qual adicionou-se 20 mL de solução de fosfato de sódio monobásico (NaH_2PO_4) com as seguintes concentrações de P: 2,18; 4,36; 10,90 e 21,90 $mg\ L^{-1}$. Importante ressaltar que as doses de fósforo utilizadas foram equivalentes às aplicações de 100, 200, 500 e 1000 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 em campo. Para reação de dessorção também foi necessário que as amostras ficassem em agitação por 24 horas (SANTOS, 2018).

Para o cálculo da quantidade de Se desorvida ($mg\ kg^{-1}$) no solo, utilizou a equação 2:

$$Se_{des} = \frac{(C_e - C_r)V}{M_s} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: Se_{des} é a quantidade de Se desorvida do solo ($mg\ kg^{-1}$); C_e é a concentração de Se na solução em equilíbrio após 24 h de reação com o solo remanescente da adsorção ($mg\ L^{-1}$); C_r é a concentração de Se proveniente da solução residual da adsorção; V é o volume final (L); e M_s , é a massa do solo (kg).

3.2.3. Análise de Se e P

O fósforo foi determinado por espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), e o Se foi quantificado por espectroscopia de absorção atômica com forno grafite (GFAAS) (SANTOS, 2018).

3.3. Interação entre Se e P no solo e seus efeitos sobre a biofortificação agronômica do capim-mombaça

3.3.1 Aplicação dos tratamentos

Para a montagem do experimento, 3 dm³ TFSA foram acondicionados em sacos plásticos. Em seguida efetuou-se a calagem com a aplicação de calcário dolomítico (PRNT = 95 %) e deixou-se incubado por 60 dias com umidade próxima a 60% da capacidade de campo. Nesse período, o solo foi misturado duas vezes por semana para garantir uma melhor reação e uniformização do calcário.

Com o intuito de avaliar o efeito do P na biofortificação agrônômica do capim-mombaça com Se, quatro doses de P (100, 200, 300, 400 mg dm⁻³), na forma de fosfato de sódio (NaH₂PO₄), e três doses de selênio (Se) (0; 0,25; 0,5 mg dm⁻³), na forma de selenato de sódio (Na₂SeO₄), foram aplicadas no solo. o experimento foi conduzido com três repetições em delineamento totalmente casualizado, perfazendo o total de 36 vasos.

Após o período de reação do calcário, o sal de Na₂SeO₄ foi solubilizado em água deionizada. A aplicação da solução contendo o Se foi pulverizada nos solos, assim possibilitando uma maior distribuição do elemento no volume total de solo do vaso. Após isso, o solo permaneceu incubado por 90 dias, sendo misturado duas vezes por semana. Para aplicação de P, adicionou-se o sal NaH₂PO₄ diretamente no solo, e deixou-se incubado por 10 dias.

Dez dias após a aplicação do P, aplicou-se os demais nutrientes: 135 mg dm⁻³ de N; 108 mg dm⁻³ de K; 50 mg dm⁻³ de S; 0,5 mg dm⁻³ de B; 1,5 mg dm⁻³ de Cu; 0,1 mg dm⁻³ de Mo; 5 mg dm⁻³ de Zn e 3,66 mg dm⁻³ de Mn, utilizando-se as seguintes fontes: K₂SO₄; H₃BO₃; CuSO₄*5H₂O; (NH₄)₆MO₇O₂₄*4H₂O; ZnSO₄*7H₂O e MnSO₄*H₂O (Malavolta, 1981; Novais et al., 1991). Em seguida procedeu-se a semeadura das sementes de capim-mombaça empregando um volume padrão de sementes por vaso. Foram realizados dois desbastes de plantas antes do décimo dia após a emergência das plântulas, mantendo cinco plantas por vaso.

Aproximadamente 27 dias após a semeadura do capim-mombaça, efetuou-se a adubação de cobertura com 95,54 mg dm⁻³ de K; 165 mg dm⁻³ de N e 22,32 mg dm⁻³ de S. As fontes utilizadas foram o K₂SO₄ e o NH₄NO₃.

No decorrer do experimento conservou-se a umidade do solo próximo a 60% da capacidade de campo em três irrigações diárias com água deionizada.

3.3.2 Corte da parte aérea das plantas

Aos 43 dias após a emergência das plântulas realizou-se o corte da parte aérea e quantificou a massa fresca do capim em balança analítica. Para a obtenção da massa seca

da parte aérea, as plantas frescas foram colocadas em estufa de ventilação forçada a 60°C durante três dias até atingir massa constante. Posteriormente as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e armazenadas adequadamente.

3.3.3 Digestão da massa seca e determinação do teor de Se

A digestão das amostras da forrageira foi feita seguindo a metodologia proposta pela Agência de Proteção Ambiental Americana - *United States Environmental Protection Agency* (USEPA3051A) (USEPA, 1998). O extrato foi obtido pela digestão de 0,4 g de massa seca do capim-mombaça em forno micro-ondas. Para isso, o material vegetal foi colocado em tubos Teflon (CEM brand, model Mars-5) juntamente com 4 mL de ácido nítrico concentrado ($\text{HNO}_3 \geq 65\%$, Sigma-Aldrich, Saint Louis, MO, EUA). O processo de digestão foi realizado em baterias de 22 amostras, contendo ainda o branco e o material de referência com teor de Se conhecido (White clover). Após 12 h em repouso, os tubo Teflon foram colocados no forno micro-ondas (CEM Corporation, Matthews, NC, EUA) para digestão da amostra a temperatura de 175°C e pressão de 0,76 MPa durante 15 minutos. Após esse processo, aguardou-se o resfriamento dos tubos à temperatura ambiente e transferiu-se os estratos para frascos de polietileno, adicionando em seguida 4 mL de água deionizada.

A determinação analítica de Se foi realizada por espectroscopia de absorção atômica com forno grafite (GFAAS) no extrato diluído 5 vezes com água ultrapura. Por meio das concentrações de Se obtidas, foi possível calcular o acúmulo do elemento na massa seca das plantas de cada vaso.

3.3.4. Controle de qualidade das medidas realizadas

Com intuito de manter o controle de qualidade, em cada bateria adicionou-se uma amostra de referência padrão (White Clover – BCR 402; Se = 6700 $\mu\text{g kg}^{-1}$), do Instituto de Referência de materiais e medidas belga (Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgium). Também foi acrescentado uma amostra em branco tendo apenas HNO_3 utilizado para o controle de possíveis contaminações.

3.3.5. Índice SPAD

O índice de clorofila SPAD foi obtido utilizando-se o clorofilômetro portátil SPAD 502 Plus (Konica Arimoto, Japão). Para esta avaliação foram avaliadas três regiões (basal, mediose e apical) de 3 folhas por planta.

3.3.6. Análise estatística dos dados

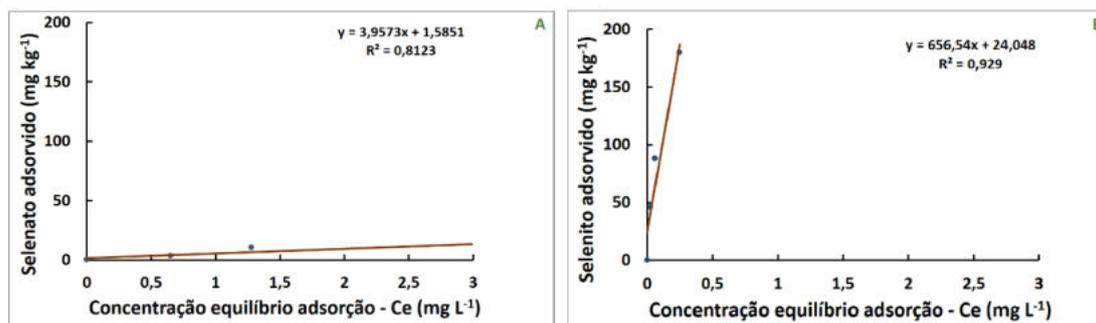
Os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$), utilizando o software Sisvar, versão 5.6 (FERREIRA 2011). O ajuste do modelo de regressão, bem como a confecção dos gráficos foram realizados em Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Sorção de selenato (VI) e selenito (IV) e sua dessorção com doses de fosforo

A partir dos resultados apresentados da figura 1, constatou-se que quanto maior a dose de Se aplicada, maior foi a quantidade de Se adsorvido, notando-se que o selenato (Figura 1A) apresentou a menor retenção no solo em relação ao selenito (Figura 1B).

Figura 1. Adsorção de Se de acordo com as formas de Se fornecidas ao solo.



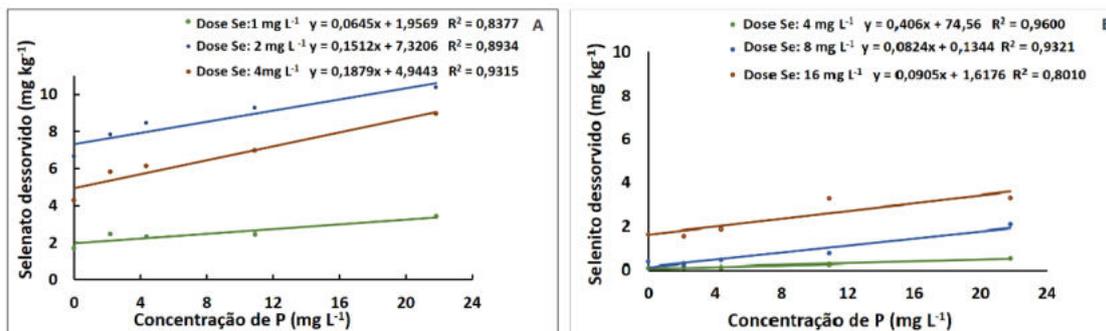
Fonte: Santos (2018).

Figura 2A – Selenato adsorvido (mg kg^{-1}) em função da concentração de equilíbrio de Se.

Figura 2B – Selenito adsorvido (mg kg^{-1}) em função da concentração de equilíbrio de Se.

Na dessorção, notou-se que quanto maior as doses de P adicionadas, maior foi a dessorção de Se, como apresentado na figura 2. Observou-se também, que o selenito dessorveu menos quando comparado ao selenato, isso está relacionado as doses de selenito aplicadas, que foram maiores, e sua alta afinidade com os coloides do solo assim provocando uma saturação dos sítios de adsorção (ARAÚJO, 2016).

Figura 2. Dessorção de Se em função da aplicação das doses de P.



Fonte: Santos (2018).

Figura 2A – Selenato dessorvido (mg kg^{-1}) em função das doses de P (mg L^{-1}) adicionadas.

Figura 2B – Selenito dessorvido (mg kg^{-1}) em função das doses de P (mg L^{-1}) adicionadas.

Alguns estudos na literatura relataram o efeito de P na redução da adsorção de Se em solos (NAKAMARU et al., 2006; NAKAMARU et al., 2008; ARAÚJO, 2016; LESSA et al., 2016; SANTOS, 2018). Isto acontece devido ao fato que os ânions fosfato conseguem bloquear os sítios de adsorção com cargas positivas, assim restringindo a capacidade do solo de reter outros ânions, tais como os de Se. Diante deste comportamento adsorptivo de P nos solos, é esperado que a adubação fosfatada possa favorecer a maior disponibilidade de Se em solos.

Solos tropicais, como o do Brasil, apresentam teores consideráveis de argila, que em grande parte é encontrada na forma de minerais 1:1 e óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), que por apresentarem cargas positivas, se tornam os principais sorventes de ânions, entre eles o selenato (WANG; CHEN, 2003; LESSA, 2015; ARAÚJO, 2016).

É possível observar também que o selenito apresentou menor dessorção em relação ao selenato, isto ocorre devido o selenato ter uma predisposição a se ligar em componentes do solo por complexos de esfera externa, enquanto o selenito mostrou ser retido pela formação de complexos de esfera interna, consequentemente estando fortemente ligado (SANTOS, 2018).

Snyder et al. (2014) e Araújo et al. (2019), avaliaram em seus trabalhos a adsorção e dessorção de Se (VI) e Se (IV) em diferentes tipos de solos, contendo óxidos de ferro e óxidos de alumínio, e atestaram que o selenato é adsorvido principalmente por esfera externa, a qual envolve ligações de caráter iônico (BRADL; SCIENCE, 2004; NUNES; REZENDE, 2015), e o selenito é retido principalmente por complexo de esfera interna, a qual envolve ligações covalentes entre o íon metálico e um ligante (BRADL; SCIENCE, 2004; NUNES; REZENDE, 2015). Deste modo, o selenito apresenta maior predisposição para ficar retido no solo, já que ligações covalentes são mais fortes e estáveis que as ligações iônicas.

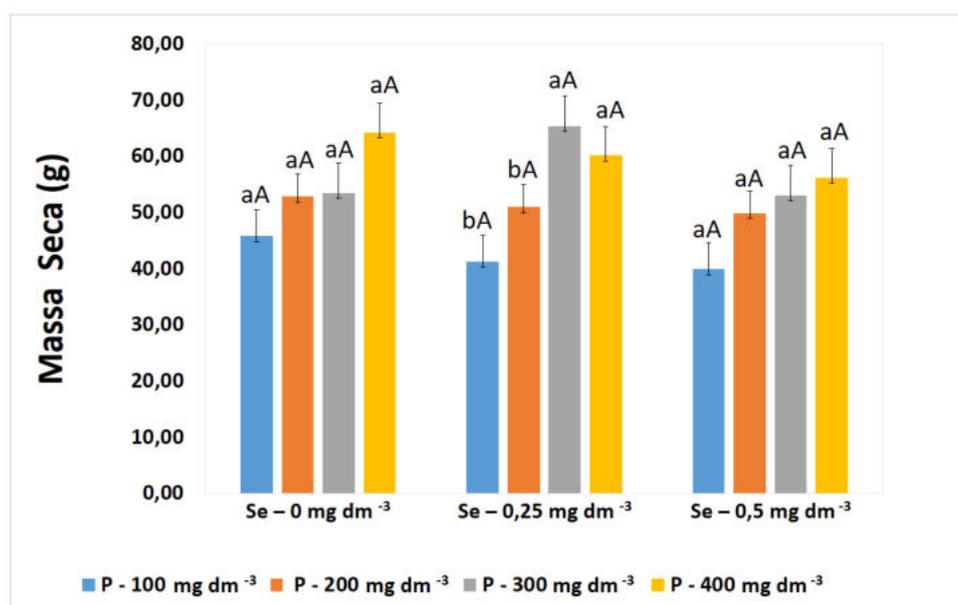
O interesse no processo de biofortificação agrônômica é a biodisponibilidade do elemento para a planta, deste modo, o Se aplicado na forma de selenato é a melhor opção para utilizar na agricultura, já que apresenta capacidade maior de dessorção quando comparado ao selenito, consequentemente ficando mais disponível para a planta.

4.2 Biofortificação agrônômica do capim-mombaça

4.2.1. Variável massa seca

A massa seca do capim-mombaça variou entre 40 g a 65 g vaso⁻¹, como pode ser observado na figura 3.

Figura 3. Massa seca do capim-mombaça em relação as doses de Se e P aplicadas no solo



Médias com a mesma letra maiúscula (doses de Se) e minúscula (doses de P) sobre as colunas não diferem significativamente pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

Observa-se que a massa seca do capim-mombaça apresentou diferença estatística entre as duas menores (100 e 200 mg dm⁻³) e as duas maiores (300 e 400 mg dm⁻³) doses de P no tratamento com a dose de 0,25 mg dm⁻³ de Se. Nesse caso, para as maiores doses de P aplicadas (300 e 400 mg dm⁻³) observou-se a maior produção de massa seca. Nota-se também que não teve diferença estatística entre as doses de P aplicadas com a variação das doses de Se.

A maior produção de massa seca do capim mombaça foi alcançada com a aplicação das doses de 300 e 400 mg dm⁻³ de P e 0,25 mg dm⁻³ de Se. Esse fato pode estar relacionado com a proteção antioxidante que o Se confere às plantas (DJANAGUIRAMAN et al., 2005). Dessa maneira, utilizando a dosagem ideal de Se e P, é possível ter maior produtividade da planta.

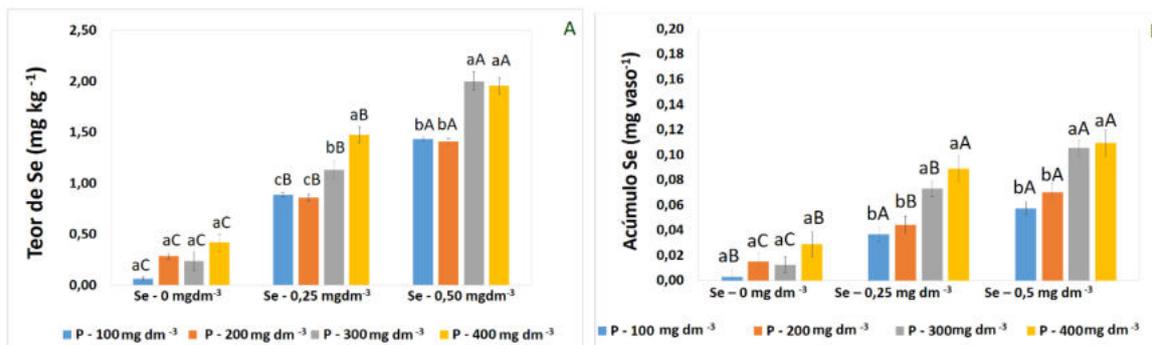
Apesar da massa seca não apresentar diferença significativa para as doses de Se, propõe-se que o menor rendimento de massa seca na dose 0,50 mg dm⁻³ de Se, seja devido a forma de Se utilizada. O Se na forma de selenato é absorvido, redistribuído e assimilado

pelas plantas por meio dos canais de enxofre (S) (WHITE et al., 2007), assim resultando na interferência do Se no metabolismo do S, e vice versa, e possivelmente também no metabolismo do nitrogênio (N) (WHITE et al., 2004; RIOS et al., 2010). Como N e S são elementos essenciais para as plantas (FAQUIN, 2005), a ausência do elemento ou interferência de outros elementos em suas rotas podem prejudicar a produtividade do vegetal.

4.2.2. Acúmulo e teor de Se no capim-mombaça

O acúmulo e o teor de Se na massa seca do capim-mombaça podem ser observados na figura 4A e figura 4B, respectivamente.

Figura 4. Acúmulo e teor de Se na parte aérea do capim-mombaça em relação as doses de Se e P aplicadas ao solo.



Médias com a mesma letra maiúscula (doses de Se) e minúscula (doses de P) sobre as colunas não diferem significativamente pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

Figura 4A – Teor de Se (mg kg⁻¹) na parte aérea de plantas de capim-mombaça em função das doses de Se (mg dm⁻³) e as doses de P (mg dm⁻³) aplicadas.

Figura 4B – Acúmulo de Se (mg vaso⁻¹) na parte aérea de plantas de capim-mombaça em função das doses de Se (mg dm⁻³) e as doses de P (mg dm⁻³) aplicadas.

Tanto o teor (Figura 4A) quanto o acúmulo (Figura 4B) de Se na parte aérea da planta de capim-mombaça, nas doses de 0,25 e 0,50 mg dm⁻³ de Se foram influenciados pelas maiores doses P. As doses de P de 300 e 400 mg dm⁻³ fornecidas proporcionaram o maior teor e acúmulo de Se nos tecidos avaliados. Analisando apenas o efeito da dose de Se aplicada ao solo, nota-se que um incremento, tanto no teor quanto no acúmulo de Se na parte aérea da planta, com o aumento da dose de Se.

Analisando apenas o efeito das doses de Se sobre o teor (Figura 4A) e acúmulo (Figura 4B) de Se na massa seca da planta, nota-se um grande incremento nessas variáveis

quando se fornece Se ao solo ($0,25$ e $0,50 \text{ mg dm}^{-3}$), em relação ao controle (dose 0 de Se), indicando a baixa capacidade natural do solo em fornecer Se.

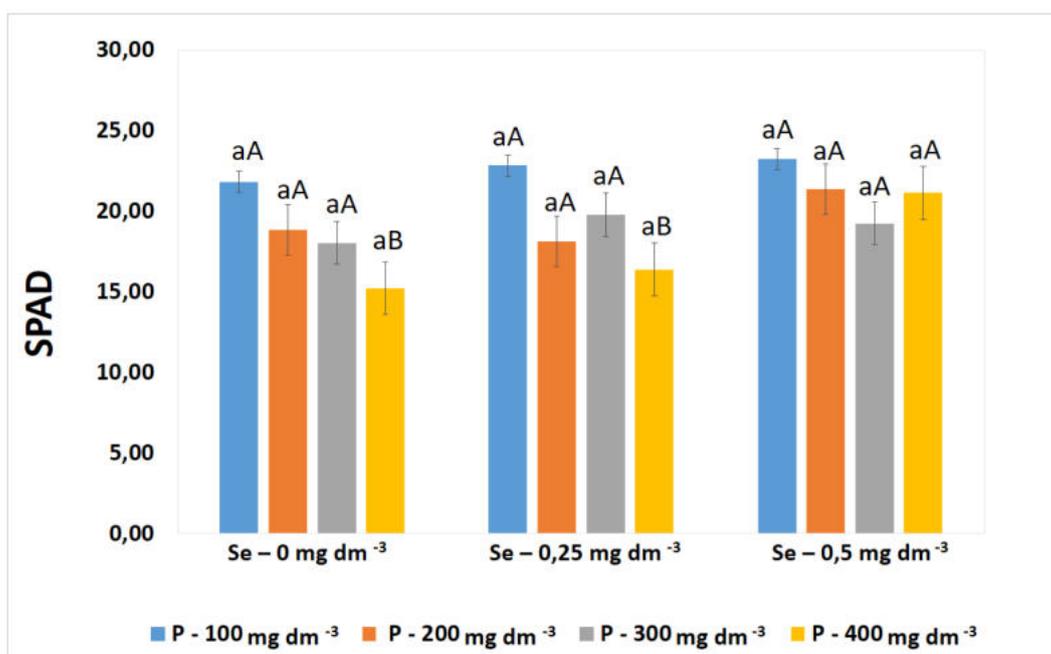
O aumento no acúmulo e no teor de Se em função das maiores doses de P aplicadas no solo (300 e 400 mg dm^{-3}) pode ter ocorrido em razão do solo utilizado no experimento ser um Latossolo de textura argilosa, altamente intemperizado, e desta maneira, possuir alto teor de óxidos com cargas positivas que possuem alta afinidade com os íons de P, que acarreta em sua adsorção no solo (BRAIT, 2008). Portanto, reduz a adsorção de ânions inorgânicos com afinidade igual ou inferior, como o selenato, e consequentemente deixa o Se mais disponível para absorção nas plantas.

A baixa capacidade dos solos tropicais, particularmente os brasileiros, em fornecer Se para as plantas está relacionado a lixiviação do elemento no solo, já que a competição entre ânions por sítios de adsorção tende ser desfavorável para Se, longa exposição ao clima tropical e o pH natural dos solos contribuem para o baixo teor de Se (GABOS et al., 2014; LESSA et al., 2016; CARVALHO et al., 2019).

4.2.3. Índice de SPAD em função de Se e P

Os valores do índice SPAD em função das doses de Se e P aplicadas via solo estão representadas na figura 5.

Figura 5. Índice relativo de clorofila de plantas de capim-mombaça tratados com Se e P



Médias com a mesma letra maiúscula (doses de Se) e minúscula (doses de P) sobre as colunas não diferem significativamente pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

O índice SPAD foi maior na dose de 400 mg dm⁻³ de P e crescente com as doses de Se aplicadas, em particular na combinação com a dose 0,50 mg dm⁻¹ de Se, em que o valor de SPAD foi o maior. A dose de 400 mg dm⁻³ apresentou diferença estatística entre a maior dose (0,50 mg dm⁻³) e as duas menores doses de Se (0 e 0,25 mg dm⁻³).

Resultado parecido ao do presente estudo foi encontrado nos trabalhos de Andrade et al. (2018) e Jiang et al. (2015), os quais também apresentaram uma tendência de aumento do índice SPAD de acordo com o aumento da dose de Se.

O Se apresenta capacidade de atuar como antioxidante em gramíneas (MORA et al. 2008). Jiang et al. (2015), observou em seu trabalho que o fornecimento de baixas doses de Se aumentou a capacidade antioxidante e redução da peroxidação lipídica no tabaco. De forma geral, as propriedades antioxidantes do Se favorecem a maior proteção dos cloroplastos contra danos oxidativos, e por consequência beneficiam a produção da clorofila, assim aumentando o índice de SPAD na planta (DIAO et al., 2014; HAWRYLAK-NOWAK, HASANUZZAMAN; MATRASZEK-GAWRON, 2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Grande parte dos estudos que avaliaram a sorção de Se em solos brasileiros, focaram apenas no seu comportamento de modo isolado. Entretanto, para entender a sua biodisponibilidade e as reações que envolvem o Se nestes solos, é importante compreender também as interações que ocorrem entre Se e outros elementos, assim aproximando da situação real de condições de manejo de solos cultivados, já que a disponibilidade de Se não depende apenas do teor total do elemento no meio, e sim de vários fatores, tais como, espécie de Se aplicada, condições redox, pH e presença de ânions competitivos. Logo, é de extrema importância desenvolver estudos relacionando o Se com estas variáveis.

Considerando a importante função do Se como antioxidante no sistema imunológico humano e animal, e sendo essencial para os mesmos, é relevante que estudos envolvendo Se e todas as variáveis do solo, possam auxiliar a estabelecer formas e doses de Se para serem adicionadas nos fertilizantes como uma maneira de melhorar a ingestão deste elemento pela população humana e animal por meio de alimentos.

Contudo, a sorção de Se no solo bem como a biofortificação agrônômica do capim-mombaça abordado neste trabalho fornece importantes informações que permitem inferir a transferência de Se aplicado via solo para a planta e conseqüentemente para os animais e aos seres humanos, seguindo a ordem da cadeia alimentar.

6. CONCLUSÕES

A adsorção de Se é maior na forma de selenito.

A dessorção de Se, principalmente na forma de selenato, é maior em doses de P mais altas, assim tornando o Se mais disponível para as plantas.

O índice SPAD aumentou com o incremento de Se.

A biofortificação da forrageira com selênio foi influenciada diretamente pelas doses de P aplicadas.

Quanto maior a dose de Se aplicada via solo (máxima de $0,50 \text{ mg dm}^{-3}$), maior foi o acúmulo deste elemento na massa seca da planta de capim-mombaça.

As doses de 300 e 400 mg dm^{-3} de P aplicadas via solo neste estudo, proporcionaram o maior acúmulo de Se na massa seca das plantas de capim-mombaça.

7. REFERENCIAL TEÓRICO

ABREU, L. B.; CARVALHO, G. S.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; DE SÁ, J. J. G.; MARQUES, M. J. R. B. D. C. D. S. Sorção de selênio em solos do bioma cerrado. v. 35, n. 6, p. 1995-2003, 2011. ISSN 0100-0683.

ADAME, E. M.; FLOREA, D.; PÉREZ, L. S.; LÓPEZ, J. M.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, B.; DE LA CRUZ, A. P.; DEL POZO, E. P. J. N. H. Deficient selenium status of a healthy adult Spanish population. v. 27, n. 2, p. 524-528, 2012. ISSN 0212-1611.

ALFTHAN, G.; EUROLA, M.; EKHOLM, P.; VENÄLÄINEN, E.-R.; ROOT, T.; KORKALAINEN, K.; HARTIKAINEN, H.; SALMINEN, P.; HIETANIEMI, V.; ASPILA, P. J. J. O. T. E. I. M.; BIOLOGY. 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. v. 31, p. 142-147, 2015. ISSN 0946-672X.

ALISSA, E. M.; BAHIJRI, S. M.; FERNS, G. A. J. M. S. M. The controversy surrounding selenium and cardiovascular disease: a review of the evidence. v. 9, n. 1, p. RA9-RA18, 2003. ISSN 1234-1010.

ANDRADE, F. R.; DA SILVA, G. N.; GUIMARÃES, K. C.; BARRETO, H. B. F.; DE SOUZA, K. R. D.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; DOS REIS, A. R. J. E.; SAFETY, E. Selenium protects rice plants from water deficit stress. v. 164, p. 562-570, 2018. ISSN 0147-6513.

ARAÚJO, A. M. Comportamento sortivo de selênio em solos do bioma cerrado: efeito da força iônica e do cultivo do solo. 83 p. Dissertação mestrado – Universidade Federal de Lavras, 2016.

ARAUJO, A. M.; LESSA, J. H. D. L.; FERREIRA, L. A.; GUILHERME, L. R. G.; LOPES, G. J. C. E. A. Soil management and ionic strength on selenite retention in oxidic soils. v. 42, n. 4, p. 395-407, 2018. ISSN 1413-7054.

ARAÚJO, S. N. Estratégias de aplicação de selênio para biofortificação do feijoeiro comum e seus efeitos residuais no capim mombaça. 45 p. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de Lavras, 2019.

BARROSO, F. D. L. INFLUÊNCIA DO MAGNÉSIO SOBRE O DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E ÍNDICES NITROGENADOS DA BATATA SEMENTE BÁSICA, CULTIVADA EM SUBSTRATO ORGÂNICO E EM HIDROPONIA. p. – Universidade Federal de Viçosa, 2013.

BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; BOLDRIN, K. V. F.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G. J. J. O. F. C.; ANALYSIS. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. v. 31, n. 2, p. 238-244, 2013. ISSN 0889-1575.

BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; CARVALHO, G. S.; DE SOUZA COSTA, E. T. J. P. A. B. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. v. 47, n. 6, p. 831-837, 2012. ISSN 1678-3921.

BOYD, R. J. N. C. Selenium stories. v. 3, n. 7, p. 570, 2011. ISSN 1755-4349.

BRADL, H. B. J. J. O. C.; SCIENCE, I. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. v. 277, n. 1, p. 1-18, 2004. ISSN 0021-9797.

BRAIT, M. A. H. J. U. F. D. G., JATAÍ, GOIÁS. Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado. v. 99, 2008.

BROWN, K. M.; ARTHUR, J. J. P. H. N. Selenium, selenoproteins and human health: a review. v. 4, n. 2b, p. 593-599, 2001. ISSN 1475-2727.

CARVALHO, G. Selênio e mercúrio em solos sob cerrado. 93p. p. – Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2011.

CARVALHO, G.; OLIVEIRA, J.; CURTI, N.; SCHULZE, D.; MARQUES, J. J. C. Selenium and mercury in Brazilian Cerrado soils and their relationships with physical and chemical soil characteristics. v. 218, p. 412-415, 2019. ISSN 0045-6535.

CHAN, Y.-H.; SIU, C.-W.; YIU, K.-H.; CHAN, H.-T.; LI, S.-W.; TAM, S.; CHEUNG, B.; LAU, C.-P.; LAM, T.; TSE, H.-F. J. T. J. O. N., HEALTH; AGING. Adverse systemic arterial function in patients with selenium deficiency. v. 16, n. 1, p. 85-88, 2012. ISSN 1279-7707.

COMBS, G. F.; COMBS, S. B. The role of selenium in nutrition. Academic Press, Inc., p., 1986. ISBN 0121834956.

COMBS, G. F. J. B. J. O. N. Selenium in global food systems. v. 85, n. 5, p. 517-547, 2001. ISSN 1475-2662.

COZZOLINO, S. M. F. J. E. A. Deficiências de minerais. v. 21, n. 60, p. 119-126, 2007. ISSN 1806-9592.

CUBADDA, F.; AURELI, F.; CIARDULLO, S.; D'AMATO, M.; RAGGI, A.; ACHARYA, R.; REDDY, R. A.; PRAKASH, N. T. J. J. O. A.; CHEMISTRY, F. Changes in selenium speciation associated with increasing tissue concentrations of selenium in wheat grain. v. 58, n. 4, p. 2295-2301, 2010. ISSN 0021-8561.

DHILLON, K.; DHILLON, S. J. A. I. A. Distribution and management of seleniferous soils. v. 79, n. 1, p. 119-184, 2003.

DIAO, M.; MA, L.; WANG, J.; CUI, J.; FU, A.; LIU, H.-Y. J. J. O. P. G. R. Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. v. 33, n. 3, p. 671-682, 2014. ISSN 0721-7595.

DJANAGUIRAMAN, M.; DEVI, D. D.; SHANKER, A. K.; SHEEBA, J. A.; BANGARUSAMY, U. J. P.; SOIL. Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. v. 272, n. 1-2, p. 77-86, 2005. ISSN 0032-079X.

EPA, U. J. S.-M. A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. v. 3051, p. 1997, 1994.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. 2005.

FERREIRA, K. S.; GOMES, J. C.; BELLATO, C. R.; JORDÃO, C. P. J. R. P. D. S. P. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. v. 11, p. 172-177, 2002. ISSN 1020-4989.

FORDYCE, F. J. A. A. J. O. T. H. E. Selenium geochemistry and health. v. 36, n. 1, p. 94-98, 2007. ISSN 0044-7447.

FORDYCE, F. M. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In: (Ed.). Essentials of medical geologyEd': Springer, 2013. p.375-416.

FREITAS, K. R.; ROSA, B.; RUGGIERO, J. A.; DO NASCIMENTO, J. L.; HEINEMAM, A. B.; FERREIRA, P. H.; MACEDO, R. J. A. S. B. S. Avaliação do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) submetido a diferentes doses de nitrogênio. v. 27, n. 1, p. 83-89, 2005. ISSN 1679-9283.

GABOS, M. B.; ALLEONI, L. R. F.; ABREU, C. J. J. O. G. E. Background levels of selenium in some selected Brazilian tropical soils. v. 145, p. 35-39, 2014. ISSN 0375-6742.

GOH, K.-H.; LIM, T.-T. J. C. Geochemistry of inorganic arsenic and selenium in a tropical soil: effect of reaction time, pH, and competitive anions on arsenic and selenium adsorption. v. 55, n. 6, p. 849-859, 2004. ISSN 0045-6535.

GONZÁLEZ-MORALES, S.; PÉREZ-LABRADA, F.; GARCÍA-ENCISO, E. L.; LEIJA-MARTÍNEZ, P.; MEDRANO-MACÍAS, J.; DÁVILA-RANGEL, I. E.; JUÁREZ-MALDONADO, A.; RIVAS-MARTÍNEZ, E. N.; BENAVIDES-MENDOZA, A. J. M. Selenium and sulfur to produce *Allium* functional crops. v. 22, n. 4, p. 558, 2017.

HAMILTON, S. J. J. S. O. T. T. E. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. v. 326, n. 1-3, p. 1-31, 2004. ISSN 0048-9697.

HAWKESFORD, M. J.; ZHAO, F.-J. J. J. O. C. S. Strategies for increasing the selenium content of wheat. v. 46, n. 3, p. 282-292, 2007. ISSN 0733-5210.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; HASANUZZAMAN, M.; MATRASZEK-GAWRON, R. Mechanisms of selenium-induced enhancement of abiotic stress tolerance in plants. In: (Ed.). Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance Ed': Springer, 2018. p.269-295.

HAYES, K. F.; PAPELIS, C.; LECKIE, J. O. J. J. O. C.; SCIENCE, I. Modeling ionic strength effects on anion adsorption at hydrous oxide/solution interfaces. v. 125, n. 2, p. 717-726, 1988. ISSN 0021-9797.

HUANG, Q.; YU, Y.; WANG, Q.; LUO, Z.; JIANG, R.; LI, H. J. P. Uptake kinetics and translocation of selenite and selenate as affected by iron plaque on root surfaces of rice seedlings. v. 241, n. 4, p. 907-916, 2015. ISSN 0032-0935.

HURST, R.; SIYAME, E. W.; YOUNG, S. D.; CHILIMBA, A. D.; JOY, E. J.; BLACK, C. R.; ANDER, E. L.; WATTS, M. J.; CHILIMA, B.; GONDWE, J. J. S. R. Soil-type influences human selenium status and underlies widespread selenium deficiency risks in Malawi. v. 3, p. 1425, 2013. ISSN 2045-2322.

JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. Proc 12 th Simposio sobre Manejo da Pastagem, 1995, 1995. p.21-58.

JANK, L.; RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. D.; RESENDE, M. D.; CHIARI, L.; CANÇADO, L. J.; SIMIONI, C. J. M. D. F. T. Melhoramento genético de *Panicum maximum*. v. 1, p. 55-87, 2008.

JEŽEK, P.; ŠKARPA, P.; LOŠÁK, T.; HLUŠEK, J.; JÚZL, M.; ELZNER, P. J. A. E. Selenium—an important antioxidant in crops biofortification. p. 343, 2012.

JOHNSON, C. C.; FORDYCE, F. M.; RAYMAN, M. P. J. P. O. T. N. S. Symposium on 'Geographical and geological influences on nutrition' Factors controlling the distribution of selenium in the environment and their impact on health and nutrition: Conference on 'Over-and undernutrition: challenges and approaches'. v. 69, n. 1, p. 119-132, 2010. ISSN 1475-2719.

JUNIOR, E. S.; WADT, L.; SILVA, K.; LIMA, R.; BATISTA, K.; GUEDES, M.; CARVALHO, G.; CARVALHO, T.; REIS, A.; LOPES, G. J. C. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. v. 188, p. 650-658, 2017. ISSN 0045-6535.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. Trace elements from soil to human. Springer Science & Business Media, p., 2007. ISBN 3540327134.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. J. B. R. Trace elements in soils and plants—CRC Press. 2001.

KIPP, A. P.; STROHM, D.; BRIGELIUS-FLOHÉ, R.; SCHOMBURG, L.; BECHTHOLD, A.; LESCHIK-BONNET, E.; HESEKER, H. J. J. O. T. E. I. M.; BIOLOGY. Revised reference values for selenium intake. v. 32, p. 195-199, 2015. ISSN 0946-672X.

LARA, T. S. Biofortificação agronômica com selênio e alterações metabólicas em trigo. 119 p. Tese Doutorado – Universidade Federal de Lavras 2016.

LENZ, M.; LENS, P. N. J. S. O. T. T. E. The essential toxin: the changing perception of selenium in environmental sciences. v. 407, n. 12, p. 3620-3633, 2009. ISSN 0048-9697.

LESSA, J.; ARAUJO, A.; SILVA, G.; GUILHERME, L.; LOPES, G. J. C. Adsorption-desorption reactions of selenium (VI) in tropical cultivated and uncultivated soils under Cerrado biome. v. 164, p. 271-277, 2016. ISSN 0045-6535.

LESSA, J. H. D. L. Adsorção E Dessorção De Selênio Em Solos Cultivados E Não Cultivados Sob Cerrado. 63 p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Lavras Lavras - MG, 2015.

LESSA, J. H. L.; ARAUJO, A. M.; FERREIRA, L. A.; DA SILVA JÚNIOR, E. C.; DE OLIVEIRA, C.; CORGUINHA, A. P. B.; MARTINS, F. A. D.; DE CARVALHO, H. W. P.; GUILHERME, L. R. G.; LOPES, G. J. P.; SOIL. Agronomic biofortification of rice (*Oryza sativa* L.) with selenium and its effect on element distributions in biofortified grains. p. 1-12, 2019. ISSN 0032-079X.

LI, H. F.; MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. J. N. P. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. v. 178, n. 1, p. 92-102, 2008. ISSN 0028-646X.

LI, Z.; MAN, N.; WANG, S.; LIANG, D.; LIU, J. J. J. O. S.; SEDIMENTS. Selenite adsorption and desorption in main Chinese soils with their characteristics and physicochemical properties. v. 15, n. 5, p. 1150-1158, 2015. ISSN 1439-0108.

LOPES, G.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G. J. C. E. A. Selenium behavior in the soil environment and its implication for human health. v. 41, n. 6, p. 605-615, 2017. ISSN 1413-7054.

LYONS, G.; GENC, Y.; SOOLE, K.; STANGOULIS, J.; LIU, F.; GRAHAM, R. J. P.; SOIL. Selenium increases seed production in Brassica. v. 318, n. 1-2, p. 73-80, 2009. ISSN 0032-079X.

MAIHARA, V.; GONZAGA, I.; SILVA, V.; FÁVARO, D.; VASCONCELLOS, M.; COZZOLINO, S. J. J. O. R.; CHEMISTRY, N. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. v. 259, n. 3, p. 465-468, 2004. ISSN 0236-5731.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Agronômica Ceres, p., 2006. ISBN 8531800471.

MARSCHNER, H. J. E. A. P. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. 1995.

MARTINEZ, M.; GIMÉNEZ, J.; DE PABLO, J.; ROVIRA, M.; DURO, L. J. A. S. S. Sorption of selenium (IV) and selenium (VI) onto magnetite. v. 252, n. 10, p. 3767-3773, 2006. ISSN 0169-4332.

MARTINEZ, R. A. S.; REZENDE, P. M. D.; ALVARENGA, A. A. D.; ANDRADE, M. J. B. D.; PASSOS, A. M. A. D. J. C. E. A. Doses and forms of selenium application on the culture of soybean. v. 33, n. 3, p. 698-704, 2009. ISSN 1413-7054.

MATOS, R. P.; LIMA, V. M.; WINDMÖLLER, C. C.; NASCENTES, C. C. J. J. O. G. E. Correlation between the natural levels of selenium and soil physicochemical characteristics from the Jequitinhonha Valley (MG), Brazil. v. 172, p. 195-202, 2017. ISSN 0375-6742.

MAYLAND, H.; JAMES, L.; PANTER, K.; SONDEREGGER, J. J. S. I. A.; ENVIRONMENT, T. Selenium in seleniferous environments. n. selenuminagric, p. 15-50, 1989. ISSN 0891189181.

MIRLEAN, N.; SEUS-ARRACHE, E.; VLASOVA, O. J. E. G.; HEALTH. Selenium deficiency in subtropical littoral pampas: environmental and dietary aspects. v. 40, n. 1, p. 543-556, 2018. ISSN 0269-4042.

MORA, M.; DURÁN, P.; ACUÑA, J.; CARTES, P.; DEMANET, R.; GIANFREDA, L. J. J. O. S. S.; NUTRITION, P. Improving selenium status in plant nutrition and quality. v. 15, n. 2, p. 486-503, 2015. ISSN 0718-9516.

NAKAMARU, Y.; TAGAMI, K.; UCHIDA, S. J. C. Distribution coefficient of selenium in Japanese agricultural soils. v. 58, n. 10, p. 1347-1354, 2005. ISSN 0045-6535.

_____. Effect of phosphate addition on the sorption–desorption reaction of selenium in Japanese agricultural soils. v. 63, n. 1, p. 109-115, 2006. ISSN 0045-6535.

NAKAMARU, Y. M.; SEKINE, K. J. S. S.; NUTRITION, P. Sorption behavior of selenium and antimony in soils as a function of phosphate ion concentration. v. 54, n. 3, p. 332-341, 2008. ISSN 0038-0768.

NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. D. O. Recurso solo: Propriedades e usos. 2015.

OLIVEIRA, V. C.; FAQUIN, V.; ANDRADE, F. R.; CARNEIRO, J. P.; DA SILVA JÚNIOR, E. C.; DE SOUZA, K. R. D.; PEREIRA, J.; GUILHERME, L. R. G. J. P. R. Physiological and Physicochemical Responses of Potato to Selenium Biofortification in Tropical Soil. p. 1-17, 2019. ISSN 0014-3065.

OLIVEIRA, V. C. D.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, K. C.; ANDRADE, F. R.; PEREIRA, J.; GUILHERME, L. R. G. J. C. E. A. Agronomic biofortification of carrot with selenium. v. 42, n. 2, p. 138-147, 2018. ISSN 1413-7054.

PEAK, D. J. J. O. C.; SCIENCE, I. Adsorption mechanisms of selenium oxyanions at the aluminum oxide/water interface. v. 303, n. 2, p. 337-345, 2006. ISSN 0021-9797.

PILON-SMITS, E. A.; QUINN, C. F. Selenium metabolism in plants. In: (Ed.). Cell biology of metals and nutrients Ed': Springer, 2010. p.225-241.

PRADO, R. D. M. Nutrição de plantas. editora UNESP, p., 2008. ISBN 8571396760.

RAMOS, S.; AVILA, F.; BOLDRIN, P.; PEREIRA, F.; CASTRO, E.; FAQUIN, V.; REIS, A.; GUILHERME, L. J. P., SOIL; ENVIRONMENT. Response of brachiaria grass to selenium forms applied in a tropical soil. v. 58, n. 11, p. 521-527, 2012. ISSN 1805-9368.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; DE ALMEIDA, H. J.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, G.; ROBERTO, L.; ALVES BASTOS, C. E.; AVILA, P. A. J. R. B. D. C. D. S. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. p. 1347-1355, 2011. ISSN 0100-0683.

RAYMAN, M. P.; THOMPSON, A. J.; BEKAERT, B.; CATTERICK, J.; GALASSINI, R.; HALL, E.; WARREN-PERRY, M.; BECKETT, G. J. J. T. A. J. O. C. N. Randomized controlled trial of the effect of selenium supplementation on thyroid function in the elderly in the United Kingdom. v. 87, n. 2, p. 370-378, 2008. ISSN 0002-9165.

RAYMAN, M. P. J. P. O. T. N. S. The argument for increasing selenium intake. v. 61, n. 2, p. 203-215, 2002. ISSN 1475-2719.

REIS, A. R.; EL-RAMADY, H.; SANTOS, E. F.; GRATÃO, P. L.; SCHOMBURG, L. Overview of selenium deficiency and toxicity worldwide: affected areas, selenium-

related health issues, and case studies. In: (Ed.). Selenium in plantsEd': Springer, 2017. p.209-230.

RIOS, J. J.; BLASCO, B.; ROSALES, M. A.; SANCHEZ-RODRIGUEZ, E.; LEYVA, R.; CERVILLA, L. M.; ROMERO, L.; RUIZ, J. M. J. J. O. T. S. O. F.; AGRICULTURE. Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. v. 90, n. 11, p. 1914-1919, 2010. ISSN 0022-5142.

RODRIGUEZ, M. M.; RIVERO, V. C.; BALLESTA, R. J. J. E. G.; HEALTH. Selenium distribution in topsoils and plants of a semi-arid Mediterranean environment. v. 27, n. 5-6, p. 513-519, 2005. ISSN 0269-4042.

ROSENFELD, I.; BEATH, O. A. Selenium: geobotany, biochemistry, toxicity, and nutrition. Academic Press, p., 2013. ISBN 1483275906.

ROTRUCK, J. T.; POPE, A. L.; GANTHER, H. E.; SWANSON, A.; HAFEMAN, D. G.; HOEKSTRA, W. J. S. Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. v. 179, n. 4073, p. 588-590, 1973. ISSN 0036-8075.

SAHA, U.; FAYIGA, A.; SONON, L. J. I. J. O. A. A. S. Selenium in the soil-plant environment: a review. v. 3, n. 1, p. 1-18, 2017.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. D. O.; BEZERRA, H. D. S. Área e distribuição espacial de pastagens cultivadas no cerrado brasileiro. Embrapa Cerrados Planaltina, p., 1999.

SANTOS, M. J. V. D. Phosphorus and sulfur addition affects selenate and selenite availabilities in oxidic soils. 48 p. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de Lavras, 2018.

SHAHID, M.; NIAZI, N. K.; KHALID, S.; MURTAZA, B.; BIBI, I.; RASHID, M. I. J. E. P. A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil-plant system with an inference to human health. v. 234, p. 915-934, 2018. ISSN 0269-7491.

SILVA, J. D.; BRUSTOLINE, C. R.; FERREIRA, V. D. P.; SANTOS JUNIOR, L. D.; DE MELLO, J.; MICHEREFF FILHO, M. Teor natural de selênio em solos do estado de Minas Gerais. Embrapa Hortaliças-Artigo em anais de congresso (ALICE), 2012, In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30

SILVA, M. L. D. S.; TREVIZAM, A. R. INTERAÇÕES IÔNICAS E SEUS EFEITOS NA NUTRIÇÃO DAS PLANTAS. 2015.

SPARKS, D. L. Environmental soil chemistry. Elsevier, p., 2003. ISBN 0080494803.

TAN, J. A.; ZHU, W.; WANG, W.; LI, R.; HOU, S.; WANG, D.; YANG, L. J. S. O. T. T. E. Selenium in soil and endemic diseases in China. v. 284, n. 1-3, p. 227-235, 2002. ISSN 0048-9697.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. J. B. E. S. Manual de métodos de análise de solo. 2017.

TORRES, F. E.; SILVA FILHO, N. M.; TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; NASCIMENTO, J. N.; FERREIRA, R. S. J. G. S.; TECHNOLOGY. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM DE CULTIVARES DE *Panicum maximum* EM FUNÇÃO DO TIPO DE SEMENTE-10.14688/1984-3801/gst. v8n1p40-46. v. 8, n. 1, 2015. ISSN 1984-3801.

United States Geological Survey. Selenium Statistics and Information. 2018. Disponível em: < <https://www.usgs.gov/centers/nmic/selenium-and-tellurium-statistics-and-information> >.

VENKATAKRISHNAN, K.; CHIU, H.-F.; WANG, C.-K. J. J. O. F. F. Popular functional foods and herbs for the management of type-2-diabetes mellitus: A comprehensive review with special reference to clinical trials and its proposed mechanism. v. 57, p. 425-438, 2019. ISSN 1756-4646.

VIDAL, A. M.; DIAS, D. O.; MARTINS, E. S. M.; OLIVEIRA, R. S.; NASCIMENTO, R. M. S.; DA SILVA CORREIA, M. D. G. J. C. D. G.-C. B. E. D. S.-U. A ingestão de alimentos funcionais e sua contribuição para a diminuição da incidência de doenças. v. 1, n. 1, p. 43-52, 2012. ISSN 2316-3151.

VOLP, A. C. P.; BRESSAN, J.; HERMSDORFF, H. H. M.; ZULET, M. A.; MARTÍNEZ, J. A. Efeitos antioxidantes do selênio e seu elo com a inflamação e síndrome metabólica. 2010. ISSN 1678-9865.

WANG, M.; CHEN, H. J. C. Forms and distribution of selenium at different depths and among particle size fractions of three Taiwan soils. v. 52, n. 3, p. 585-593, 2003. ISSN 0045-6535.

WHITE, P. J.; BOWEN, H. C.; MARSHALL, B.; BROADLEY, M. R. J. A. O. B. Extraordinarily high leaf selenium to sulfur ratios define 'Se-accumulator' plants. v. 100, n. 1, p. 111-118, 2007. ISSN 0305-7364.

WHITE, P. J.; BOWEN, H. C.; PARMAGURU, P.; FRITZ, M.; SPRACKLEN, W.; SPIBY, R.; MEACHAM, M.; MEAD, A.; HARRIMAN, M.; TRUEMAN, L. J. J. O. E. B. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. v. 55, n. 404, p. 1927-1937, 2004. ISSN 1460-2431.

WINKEL, L. H.; VRIENS, B.; JONES, G. D.; SCHNEIDER, L. S.; PILON-SMITS, E.; BAÑUELOS, G. S. J. N. Selenium cycling across soil-plant-atmosphere interfaces: a critical review. v. 7, n. 6, p. 4199-4239, 2015.

XIONG, Y. M.; MO, X. Y.; ZOU, X.; SONG, R.; SUN, W.; LU, W.; CHEN, Q.; YU, Y.; ZANG, W. J. O.; CARTILAGE. Association study between polymorphisms in selenoprotein genes and susceptibility to Kashin-Beck disease. v. 18, n. 6, p. 817-824, 2010. ISSN 1063-4584.

YASIN, M.; EL-MEHDAWI, A. F.; ANWAR, A.; PILON-SMITS, E. A.; FAISAL, M. J. I. J. O. P. Microbial-enhanced selenium and iron biofortification of wheat (*Triticum aestivum* L.)-applications in phytoremediation and biofortification. v. 17, n. 4, p. 341-347, 2015. ISSN 1522-6514.

ZWOLAK, I.; ZAPOROWSKA, H. J. C. B.; TOXICOLOGY. Selenium interactions and toxicity: a review. v. 28, n. 1, p. 31-46, 2012. ISSN 0742-2091.