



**OLÍVIA BIBIANA SOUZA DIAS**

**HÁ INTERAÇÃO DE SELÊNIO E POTÁSSIO NA  
NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRAMÍNEAS  
FORRAGEIRAS?**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**OLÍVIA BIBIANA SOUZA DIAS**

**HÁ INTERAÇÃO DE SELÊNIO E POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO E  
PRODUTIVIDADE DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Ligia de Souza Silva

Orientadora

**LAVRAS - MG**

**2023**

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

Dias, Olivia Bibiana Souza.

Há interação de Selênio e Potássio na nutrição e produtividade  
de gramíneas forrageiras? / Olivia Bibiana Souza Dias. - 2023.

75 p. : il.

Orientador(a): Maria Ligia de Souza Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Interação. 2. Elementos. 3. Sinergismo. I. Silva, Maria Ligia  
de Souza. II. Título.

**OLÍVIA BIBIANA SOUZA DIAS**

**HÁ INTERAÇÃO DE SELÊNIO E POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO E  
PRODUTIVIDADE DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS?**

**IS THERE AN INTERACTION OF SELENIUM AND POTASSIUM IN THE  
NUTRITION AND PRODUCTIVITY OF FORAGE GRASSES?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 12 de julho de 2023.

Dr. José Lavres Junior                      CENA-USP

Dr. Vitor de Laia Nascimento      UFLA

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Ligia de Souza Silva  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2023**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me sustentar, me mostrar o caminho correto, por amenizar as dores, me abençoar e por ser tudo na minha vida. Obrigada senhor!

Agradeço à minha família por ser minha base, minha mãe Vera, meus irmãos Ramon e Marco, meus sobrinhos Vitória, Gustavo e Maria Clara, minha cunhada Teca, meu padraсто Salvador e meu pai Ramon por todas as orações, torcida, apoio, força, por todo amor e cuidado. Ao meu primo Paulo pela amizade, risadas, apoio e por passar as provas da pós-graduação comigo. À minha tia Cida por sempre me apoiar e me abençoar.

À minha Amora, minha companheira, minha salsichinha, por me distrair nas horas mais tensas, me fazer sorrir, me abraçar com seu jeito canino, me acompanhar nesta jornada e me mostrar que a força que precisamos às vezes vem de onde menos esperamos.

Ao Ronan meu namorado, companheiro e amigo, por me apoiar, me fazer sorrir, aguentar todas as minhas ansiedades, me ajudar nas decisões, somar em minha vida, não me deixar desistir, por sempre me encorajar e ajudar a me manter firme na jornada e por todo amor e carinho. Aos meus sogros José e Fátima por me apoiarem, por todo carinho, cuidado e atenção.

Ao meu avô Geraldo (*in memoriam*) por ter sido avô e pai. Por ter me abençoado, por todo amor, carinho, cuidado e todos os ensinamentos. Por ter sido meu exemplo de força e perseverança. Ao meu tio Tute (*in memoriam*) por ter sido minha inspiração profissional e ao meu tio Jurandir (*in memoriam*), ambos por terem sido tios e pais, pelos ensinamentos, aventuras, cuidados, apoio, carinho e por todo amor. Por terem me ensinado a ser forte, honesta e perseverante. Foi por vocês que escolhi este caminho. Obrigada por tanto.

Aos meus amigos pelo carinho, apoio, torcida e por me acompanharem na caminhada. Em especial ao meu amigo Régis (*in memoriam*), essa vitória também é sua!

À minha orientadora Maria Ligia, por me proporcionar ensinamentos, apoio e pela orientação. Ao Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas (GENP) em especial à Ane, Edinei e Aline pelo acolhimento, paciência e amizade.

Ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), ao PPGCS e à UFLA por me acolher e pelas oportunidades. Aos professores, funcionários e técnicos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

E agradeço a mim, por não ter desistido, por ter me mantido forte e perseverante apesar dos desafios e por ter chegado até o fim. Eu venci em nome de Jesus!

## RESUMO

Atualmente o uso de gramíneas forrageiras em diferentes atividades requer um amplo desenvolvimento da planta para se obter uma alta produtividade e uma maneira de aumentar a produtividade é utilizando as interações iônicas. Sendo assim, o presente trabalho objetivou utilizar a interação entre doses de selênio (Se) e potássio (K), para se obter o melhor desenvolvimento de gramíneas forrageiras. Apresentando como hipótese que com a interação das doses de Se e K, a brachiaria e o Capim andropógon obtenham maior desenvolvimento estrutural e morfogênico alcançando assim uma ampla produção de forragem. Para este experimento foram utilizadas três doses de K (120, 150 e 180 mg/dm<sup>3</sup>) e quatro doses de Se (0, 0,25, 0,75 e 1,5 mg/dm<sup>3</sup>). Para as doses de K foi executada a adubação em três parcelas. A primeira foi aplicada sete dias após o plantio e as demais parcelas com trintas dias de intervalo, todas via solo. As doses de Se foram aplicadas, via solo, quinze dias antes dos cortes. Foram realizados três cortes, sendo o primeiro corte quarenta dias após a emergência e os demais quarenta dias após o corte anterior. O material coletado foi levado para secagem, moagem e armazenamento. As espécies escolhidas para receberem esse tratamento foram a *Brachiaria ruziziensis* e o *Andropogon gayanus*, ambas gramíneas forrageiras de produção. Foram utilizados 96 vasos e as sementes foram semeadas diretamente no solo sem receber tratamento prévio. O solo utilizado, um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico, foi analisado e corrigido com calcário dolomítico para receber a semeadura. As plantas receberam também adubações bases de N, S, P e micronutrientes. Para este projeto foram feitas análises morfogênicas semanalmente, para acompanhar o desenvolvimento das plantas, leituras de comprimento de colmo, comprimento de folha e senescência foliar. No final do experimento foram retiradas as raízes que seguiram para secagem, moagem e análises químicas junto com a parte aérea para quantificar a concentração dos nutrientes. Para o Capim andropógon não houve interação entre as doses dos elementos estudados, não influenciando na produtividade da gramínea e nas taxas morfogênicas. Os teores de Se e K não foram influenciados pelas doses dos elementos, não obtendo resposta significativa. Para a brachiaria não houve resposta das adubações em relação a produtividade. Contudo houve interação entre os elementos nas taxas de alongamento foliar e senescência. Como também para os teores de Se da parte aérea, demonstrando uma interação sinérgica entre os elementos. Com isto conclui-se que a brachiaria apresentou respostas a interação entre os elementos, o que não foi observado no Capim andropógon. E os elementos de forma separada não influenciaram na produtividade das gramíneas.

**Palavras-chaves:** Interação. Elementos. Sinergismo. Brachiaria. Capim andropógon

## ABSTRACT

Currently the use of forage grasses in different activities requires a wide development of the plant to obtain a high productivity and a way to increase productivity is using ionic interactions. Thus, this study aimed to use the interaction between doses of selenium (Se) and potassium (K), to obtain the best development of forage grasses. Presenting as hypothesis that with the interaction of doses of Se and K, brachiaria and capim andropógon obtain greater structural and morphogenic development thus achieving a wide forage production. For this experiment, three doses of K (120, 150 and 180 mg dm<sup>-3</sup>) and four doses of Se (0, 0.25, 0.75 and 1.5 mg dm<sup>-3</sup>) were used. For K doses, fertilization was performed in three plots. The first was applied seven days after planting and the other plots with thirty days of interval, all via soil. The doses of Se were applied, via soil, fifteen days before the cuts. Three cuts were made, the first cut forty days after emergence and the other forty days after the previous cut. The collected material was taken for drying, grinding and storage. The species chosen to receive this treatment were *Brachiaria ruziziensis* and *Andropogon gayanus*, both forage grasses. 96 pots were used and the seeds were sown directly in the soil without receiving previous treatment. The soil used, a typical dystrophic Red Yellow Latosol (Oxisol), was analyzed and corrected with dolomitic limestone to receive sowing. The plants also received basic fertilizers of N, S, P and micronutrients. For this project were made morphogenic analyzes weekly to monitor the development of plants, readings of stem length, leaf length and leaf senescence. At the end of the experiment were removed the roots that followed for drying, grinding and chemical analysis along with the shoot to quantify the concentration of nutrients. For capim andropógon there was no interaction between the doses of the elements studied, not influencing the productivity of the grass and the morphogenic rates. The contents of Se and K were not influenced by the doses of the elements, not obtaining significant response. For brachiaria there was no response of fertilization in relation to productivity. However, there was interaction between the elements in leaf elongation and senescence rates. As well as for the Se contents of the aerial part, demonstrating a synergistic interaction between the elements. With this it is concluded that brachiaria presented responses to interaction between the elements, which was not observed in capim andropógon. And the elements separately did not influence the productivity of the grasses.

**Keywords:** Interaction. Elements. Synergism. Brachiaria. Andropogon grass.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa de alongamento de caule (TAIC) da brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	32
Figura 2 - Taxa de alongamento foliar (TAIF) da brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	34
Figura 3 - Taxa de aparecimento foliar (TApF) da brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	35
Figura 4 - Taxa de senescência foliar (TSF) da brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	36
Figura 5 - Massa seca da parte aérea (MSPA) na Brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	38
Figura 6 - Massa seca da raiz (MSR) na Brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	39
Figura 7 - Teor de selênio da parte aérea na brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	41
Figura 8 - Teor de selênio da raiz na brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	42
Figura 9 - Acúmulo de selênio da parte aérea na brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	43
Figura 10 - Acúmulo de selênio da raiz na brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	44
Figura 11 - Teor de potássio da parte aérea na brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	46
Figura 12 - Teor de potássio da raiz na brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	47
Figura 13 - Acúmulo de potássio da parte aérea na brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	47
Figura 14 - Acúmulo de potássio da raiz na brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	48
Figura 15 - Eficiência de absorção (Ea) de selênio e potássio na Brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	50
Figura 16 - Eficiência de utilização (Eu) de selênio e potássio na Brachiaria ( <i>Brachiaria ruziziensis</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de alongamento de colmo (TAIC) do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	18
Tabela 2 - Taxa de alongamento de colmo (TAIC) do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	19
Tabela 3 - Taxa de alongamento foliar (TAIF) do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	19
Tabela 4 - Taxa de alongamento foliar (TAIF) do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	19
Tabela 5 - Taxa de aparecimento foliar (TApF) do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	20
Tabela 6 - Taxa de aparecimento foliar (TApF) do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	20
Tabela 7 - Taxa de senescência foliar (TSF) do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	20
Tabela 8 - Taxa de senescência foliar (TSF) do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	21
Tabela 9 - Massa seca da parte aérea (MSPA) no Capim andropógon ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	22
Tabela 10 - Massa seca da parte aérea (MSPA) no Capim andropógon ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	22
Tabela 11 - Massa seca da raiz (MSR) no Capim andropógon ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	23
Tabela 12 - Teor de selênio da parte aérea no Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	24
Tabela 13 - Teor de selênio da parte aérea no Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	24
Tabela 14 - Teor de selênio da raiz no Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	25
Tabela 15 - Acúmulo de selênio da parte aérea no Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	25
Tabela 16 - Acúmulo de selênio da parte aérea no Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	26

Tabela 17 - Acúmulo de selênio da raiz no Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	26
Tabela 18 - Teor de potássio na parte aérea do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	27
Tabela 19 - Teor de potássio na parte aérea do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	27
Tabela 20 - Teor de potássio na raiz do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas. ....	28
Tabela 21 - Acúmulo de potássio na parte aérea do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se aplicadas .....	28
Tabela 22 - Acúmulo de potássio na parte aérea do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de K aplicadas .....	28
Tabela 23 - Acúmulo de potássio na raiz do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	29
Tabela 24 - Eficiência de absorção (Ea) de selênio do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	30
Tabela 25 - Eficiência de absorção (Ea) do potássio do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	30
Tabela 26 - Eficiência de utilização (Eu) de selênio do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	31
Tabela 27 - Eficiência de utilização (Eu) de potássio do Capim ( <i>Andropogon gayanus</i> ) em função das doses de Se e K aplicadas .....	31

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo geral.....	13
2.2. Objetivos Específicos.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1. Nutrição de gramíneas forrageiras.....	14
3.2. Brachiaria x Capim andropógon.....	15
3.3. Selênio em plantas forrageiras.....	17
3.4. Potássio em plantas forrageiras.....	20
3.5. Interações nutricionais.....	22
3.6. Interações iônicas do Potássio.....	23
3.7. Interações iônicas do Selênio.....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1. Local do experimento.....	26
4.2. Solo.....	26
4.3. Delineamento experimental e condução.....	26
4.4. Análises.....	27
4.5. Análises estatísticas.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1. <i>Andropogon gayanus</i> .....	29
5.1.1. Morfogênese.....	29
5.1.2. Nutricionais.....	33
5.1.2.1. Matéria seca.....	33
5.1.2.2. Teor e acúmulo de selênio.....	35
5.1.2.3. Teor e acúmulo de potássio.....	38
5.1.2.4. Índices de eficiência.....	41
5.2. <i>Brachiaria ruziziensis</i> .....	43
5.2.1. Morfogênese.....	43
5.2.2. Nutricionais.....	48
5.2.2.1. Matéria seca.....	48
5.2.2.2. Teor e acúmulo de selênio.....	51
5.2.2.3. Teor e acúmulo de potássio.....	56
5.2.2.4. Índices de eficiência.....	61
5.2.2.5. Considerações finais.....	63

<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior extensão de pastagens naturais do mundo e enriqueceu-se ao longo dos anos com a implantação de pastagens cultivadas. O gênero dominante no Brasil é o *Brachiaria*, cujas forrageiras apresentam características relevantes para a produção, pois são plantas resistentes a diversos fatores, como clima, umidade do ar, temperatura, tipos de solo e outros. Outra forrageira amplamente encontrada em pastagens brasileiras, especialmente na região do cerrado, é o gênero *Andropogon*, que se destaca pelo seu bom desempenho mesmo em condições adversas e de estresse hídrico.

A área total de pastagens, entre as nativas e as cultivadas, no Brasil é de aproximadamente 159,49 milhões de hectares (ha). Dentre essa extensão, as pastagens plantadas compreendem cerca de 100,31 milhões de ha, o que equivale a 63% do total. Além disso, há 47,32 milhões de ha de pastagens nativas e mais 11,86 milhões de ha de pastagens plantadas em más condições, o que representa 7% do total (IBGE, 2019).

A extensa área de pastagens pouco produtivas ou em más condições deve-se, em grande parte, à subestimação da adubação das pastagens, aliada ao mau manejo. Esses fatores contribuem para o aumento dessas áreas. Entre os principais elementos que podem ocasionar ou agravar o processo de degradação das pastagens, destaca-se a falta de correção e adubação do solo na sua formação, e, sobretudo, a ausência da reposição de nutrientes por meio da prática de adubação de manutenção (REIS, 2021).

O conhecimento dos fatores nutricionais que limitam o crescimento das gramíneas forrageiras é de grande importância para o estabelecimento, manejo e persistência das pastagens cultivadas. O manejo da fertilidade do solo, a prática da adubação e a compreensão das exigências nutricionais das plantas forrageiras desempenham um papel fundamental na melhoria das pastagens ao longo do ano. Isso é particularmente crucial durante os períodos críticos de escassez de chuva, quando a produção de forragem é reduzida (SANTOS *et al.*, 2009).

A produção de biomassa das forrageiras pode ser aprimorada por meio do uso eficiente e sustentável de fertilizantes. Um elemento crucial para a nutrição das forrageiras é o potássio (K), que desempenha um papel essencial no crescimento e desenvolvimento das plantas. Quando as plantas absorvem o potássio, grande parte de sua atividade está relacionada ao crescimento vegetal e está associada a processos como a regulação do turgor

celular, a abertura e fechamento dos estômatos, o crescimento das folhas e dos colmos, bem como a absorção de água pelo apoplasto.

Outro elemento importante que vem sendo abordado em novos estudos com plantas forrageiras é o selênio (Se). O Se pode ser encontrado no solo em formas tanto orgânicas quanto inorgânicas, mas as plantas apenas utilizam o selênio presente no solo na forma inorgânica.

Nas plantas, o Se atua como um elemento benéfico e pode estimular o crescimento das plantas em situações de estresse. O Se desempenha um papel importante na regulação da fotossíntese e da respiração, na promoção da resistência ao estresse, na capacidade antioxidante, na tolerância ao estresse abiótico e na mitigação do estresse causado por metais pesados.

Uma maneira de melhorar a produtividade das plantas forrageiras é através da interação entre nutrientes. Essas interações podem resultar em melhorias significativas no desenvolvimento das plantas. O Se e o K presentes no solo são suscetíveis a interações com outros elementos que podem facilitar ou dificultar o processo de absorção pelas plantas. Enquanto individualmente a ação de um elemento pode ser satisfatória, as interações entre eles podem potencializar a resposta das plantas em termos de produção.

Dado que o K é um elemento essencial e o Se é um elemento benéfico, e ambos desempenham funções semelhantes na vida das plantas, este trabalho tem como hipótese principal que a interação de diferentes doses de Se e K resultará em um maior desenvolvimento estrutural e morfogênico das gramíneas brachiaria e Capim andropógon, levando a uma produção de forragem mais abundante. O objetivo principal deste estudo é avaliar as possíveis interações entre esses elementos e como elas afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das gramíneas forrageiras.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar as interações entre selênio e potássio e seus efeitos no crescimento de gramíneas forrageiras por meio dos parâmetros produtivos, estruturais e químicos.

## 2.2. Objetivos Específicos

Avaliar a produtividade de massa seca total, da parte aérea e raízes das gramíneas submetidas as doses crescentes de selênio e potássio.

Avaliar a porcentagem de folhas, colmos e massa morta das gramíneas submetidas as doses crescentes de selênio e potássio.

Avaliar o teor dos elementos na parte aérea e raízes das gramíneas submetidas as doses crescentes de selênio e potássio.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1. Nutrição de gramíneas forrageiras

A introdução de capins originários do Continente Africano em regiões de pecuária no Brasil sempre se mostrou de grande importância e cada vez mais assume destaque pelo fato deles apresentarem boa adaptação às condições edáficas dos solos brasileiros e climáticas semelhantes ao seu centro de origem, como também por ser a base principal do fornecimento de alimento para o rebanho (LAVRES JR, 2001).

Pode-se dizer que as gramíneas forrageiras introduzidas modificaram radicalmente a paisagem do Brasil Pecuário, e há fortes evidências de que novas cultivares continuarão a ter o papel de agentes de desenvolvimento dessa vasta região (SILVA, 2022). A busca por soluções para a manutenção de níveis satisfatórios de produção forrageira, compatíveis com clima e solo de forma a manter o sistema sustentável ao longo do tempo, objetiva a obtenção de variedades de forrageiras produtivas, com boa qualidade nutricional, adaptadas a estresses bióticos e abióticos, e que produzam sementes de boa qualidade (KARIA *et al.*, 2009).

Nesse sentido, a busca da solução deste problema envolve não só a identificação de materiais forrageiros adequados às diferentes condições, mas também os níveis ótimos de adubação que garantam a sua produção e perenidade. Normalmente, o uso de plantas forrageiras em pastagens é feito sem levar em consideração aspectos básicos relacionados com o crescimento e desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, de seus requerimentos em termos nutricionais (SANCHES *et al.*, 2013).

Como consequência, tem-se extensas áreas de pastagens degradadas ou em algum estágio de degradação causando baixo retorno econômico da atividade pecuária e, muitas

vezes, prejuízos ao meio ambiente. Neste contexto, o conhecimento das características morfofisiológicas das gramíneas em diversas condições é essencial para se estabelecerem procedimentos adequados de manejo que promovam a perenidade das pastagens. Vale ressaltar que existem diferenças entre espécies que devem ser consideradas (MARTUSCELLO *et al.*, 2009).

Assim, os estudos referentes ao comportamento fisiológico e produtivo das plantas forrageiras são extremamente importantes para a definição de estratégias de manejo, principalmente, quando se trata de cultivares novos. Por outro lado, a manutenção e a produtividade, das plantas forrageiras podem ser maximizadas pelo aumento do uso de fertilizantes (SANCHES *et al.*, 2013).

O valor nutritivo de uma espécie forrageira é influenciado pela fertilidade do solo, condições climáticas, idade fisiológica e manejo a que está submetida. O valor nutritivo também é avaliado pela digestibilidade e pelos seus teores de proteína bruta (PB) e de parede celular, características estreitamente relacionadas com o consumo de matéria seca (MS). A qualidade da forragem depende de seus constituintes e estes são variáveis, dentro de uma mesma espécie, de acordo com a idade e parte da planta, fertilidade do solo, entre outros (COSTA *et al.*, 2005).

O atendimento das exigências nutricionais das plantas forrageiras é um dos fatores que interfere na produção e na qualidade de forragem das pastagens. O desenvolvimento vegetativo de uma gramínea é caracterizado pelo aparecimento e desenvolvimento de folhas e perfilhos, alongamento do colmo e desenvolvimento do sistema radicular (LAVRES JR. & MONTEIRO, 2003). O crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas sofrem grande influência das condições ambientais, porém a disponibilidade de nutrientes exerce papel fundamental sobre ambos os parâmetros.

Portanto, o sucesso na utilização de pastagens também depende, além da espécie forrageira, da disponibilidade hídrica e de nutrientes, do entendimento dos mecanismos morfofisiológicos e da sua interação com o ambiente, ponto fundamental para suportar tanto o crescimento quanto a manutenção da capacidade produtiva da pastagem e reduzir as perdas por senescência (GARCEZ NETO *et al.*, 2002).

### **3.2. Brachiaria x Capim andropógon**

A *Brachiaria ruziziensis* foi introduzida no Brasil em meados dos anos 1960. Atualmente, é principalmente utilizada em consórcio com outras culturas e como cultura de cobertura para o plantio direto. Diversos estudos têm demonstrado que essa espécie traz benefícios para o produtor, tais como o combate à erosão, a melhoria da fertilidade do solo, bem como a melhora da estrutura do solo quando utilizada em consórcio.

É uma planta perene que atinge, em média, um metro de altura. Além disso, ela demonstra um rápido estabelecimento e uma boa germinação das sementes. Também apresenta crescimento cespitoso, ou seja, ereto, o que aumenta significativamente sua captação de luz por área e sua eficiência na fotossíntese, conferindo à planta uma boa tolerância à sombra. Seu desenvolvimento é mais favorável em regiões tropicais, com a temperatura ideal para crescimento situada entre 28°C e 33°C (FONSECA, 2010).

A *Brachiaria ruziziensis* apresenta alguns atributos positivos como a elevada qualidade de forragem e elevado valor alimentício; elevada produção de sementes; facilidade de estabelecimento; resposta à adubação; alta palatabilidade e alta aceitabilidade por bovinos. Por outro lado, também apresenta alguns atributos negativos como a não adaptabilidade a solos ácidos e de baixa fertilidade; é susceptível à cigarrinha das pastagens; possui baixo crescimento na seca; demonstra baixa competição com invasoras e não tolera solos úmidos (CORRÊA, 2002).

O Capim andropógon (*Andropogon gayanus*) é uma gramínea de origem africana, muito utilizado na região dos cerrados por ser famoso por sua rusticidade. O cerrado possui aproximadamente sessenta milhões de hectares de pastagens, dos quais em torno de 5% são ocupados por Capim do gênero *Andropogon* (EMBRAPA, 2021).

Devido à sua alta rusticidade o Capim andropógon é bastante utilizado em sistemas de pastejo, sendo bem aceito por bovinos e equinos. É uma excelente opção para sistemas de produção marginais e, ou com baixo nível de insumos. Esse Capim apresenta capacidade de rebrota após o fogo, sendo utilizado para a renovação e limpeza das pastagens a fim de aumentar a produção das forrageiras e melhorar a palatabilidade (FLORES, 2014).

Essa espécie apresenta plantas perenes, com crescimento cespitoso, porte de 1,5 a 2,5m de altura, sendo apetitosa e nutritiva quando jovem, mas produz inflorescência de talos duros e pouco aceito por ruminantes com o avançar do estágio vegetativo (FAO, 2004).

Como toda espécie forrageira ele apresenta atributos positivos como a resistência à cigarrinha das pastagens; adaptação a solos ácidos e de baixa fertilidade; é indicado para solos rasos e pedregosos; apresenta rebrota rápida na primavera; boa resistência ao fogo e à seca. Contudo, também possui atributos negativos como estabelecimento lento; pouca competição

com invasoras; perda da qualidade no inverno; não possui indicação como reserva para a seca; possui valor nutritivo médio (CORRÊA, 2002).

Seu aspecto rústico sugere menor necessidade de investimento em adubação. No entanto, estudos têm mostrado que é uma espécie que responde de forma promissora quando manejada adequadamente.

### 3.3. Selênio em plantas forrageiras

O Selênio (Se) é um elemento benéfico as plantas, a concentração total nos solos varia de 0,005 a 1200 mg Kg<sup>-1</sup> com ocorrência de altas concentrações em muitas partes do mundo (CASTEEL E BLODGETT, 2004). Encontrado em pequenas quantidades em quase todos os materiais que compõem a crosta terrestre, é um dos elementos com elevada variação de seus teores (MALAVOLTA, 1980). O Se contido no solo é resultado do intemperismo do conteúdo de rochas, atividade vulcânica, resíduos (queima de combustíveis nas proximidades) e alguns fertilizantes fosfatados (FARIA, 2009).

O Se pode ser encontrado na natureza em diversos estados de oxidação incluindo selenato (SeO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), selenito (SeO<sub>3</sub><sup>-2</sup>), selênio elementar (Se<sup>0</sup>) e seleneto (Se<sup>-2</sup>) (CASTEEL e BLODGETT, 2004). Os teores de Se nas plantas, animais e seres humanos, numa determinada região, estão diretamente relacionados com o conteúdo desse elemento no solo, que por sua vez está relacionado com a pedologia, gênese e localização das áreas de cultivo, tendo as plantas um papel essencial na transferência do Se do solo para a cadeia alimentar (WHITE *et al.*, 2016; SORS; ELLIS; SALT, 2005; WHITE; BROADLEY, 2009).

A adição de Se à mistura de fertilizantes, como maneira de suprir sua necessidade em solos com baixos teores deste elemento e incrementar sua concentração nas plantas, é relativamente recente. A primeira tentativa foi realizada por Cary e Allaway (1973) ao aplicarem selenito de sódio nas doses de 2,24 e 4,48 Kg ha<sup>-1</sup> em campos de milho, aveia e forragem, que apresentaram concentrações de Se no tecido vegetal acima de 0,1 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo o suficiente para proteger os animais de doenças causadas pela deficiência de Se.

Estes autores verificaram ainda que a aplicação da dose de 4,48 Kg ha<sup>-1</sup> não acarretou em teores de Se considerados tóxicos, concluindo que a adição de Se na fonte de selenito de sódio, na dose de 2 Kg ha<sup>-1</sup>, foi suficiente para o enriquecimento das plantas com Se, protegendo os animais da deficiência deste mineral. Na pecuária, a exigência mínima de Se é

de 0,05 a 0,10 mg Kg<sup>-1</sup> de forragem seca, enquanto a concentração tóxica de Se na alimentação animal é de 2 a 5 mg Kg<sup>-1</sup> de forragem seca (Wu *et al.*, 2015).

A legislação brasileira não permitia a adição de Se em fertilizantes para fins comerciais. No entanto, com os vários dados de pesquisas nacionais sobre o Se na agricultura, essa prática passou a ser liberada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) através da instrução normativa Nº 46 de 22 de novembro de 2016. Contudo, estudos são necessários a fim de determinar concentrações de Se nos fertilizantes e as possíveis doses dos fertilizantes a serem utilizadas, além dos efeitos de interação que podem ocorrer no sistema solo-planta.

O teor de Se de plantas cultivadas em solos naturalmente ácidos deficientes em Se pode ser aumentado pela adição de Se ao solo na forma de selenito ou selenato (CARTES, 2005). Além disso, Whelan e Barrow (1994) demonstraram que os fertilizantes de liberação lenta de Se são adequados para áreas de pastagem de longo prazo, onde o crescimento da cultura é restrito aos meses frios e úmidos do inverno e há muito pouca umidade do solo para o crescimento das plantas durante o verão.

O Se vem contribuindo para o crescimento e qualidade das plantas devido aos seus efeitos antioxidantes (WHITE, 2016). As plantas apresentam capacidades diferenciadas de absorção e acúmulo de Se, ao ser absorvido na forma de selenato, apresenta propriedades químicas semelhantes às do enxofre (S), sendo compartilhadas as mesmas vias metabólicas. A presença de compostos isólogos nas plantas indica que o Se e S competem em processos biológicos que afetam a absorção, translocação e assimilação nos processos de crescimento das plantas (SORS; ELLIS; SALT, 2005).

A maior parte dos elementos comprovadamente essenciais ao homem e aos animais também exercem funções importantes no desenvolvimento vegetal e, em muitos casos, seus mecanismos de ação são similares. Nesse sentido, cita-se, por exemplo, a função antioxidante do Se na eliminação de espécies reativas de oxigênio (ERO) (ANDRADE *et al.*, 2018), que ocorre tanto na planta quanto no organismo humano.

O Se pode controlar a superprodução de ERO, atuando na regulação da atividade antioxidante, mecanismo fundamental para combater o estresse ambiental nas plantas (FENG; WEI; TU, 2013). Em condições normais, a produção de ERO em células de plantas é mantida em níveis baixos. No entanto, em condições de estresse os níveis de ERO são aumentados, afetando os processos metabólicos e, por fim, o crescimento e produção das plantas.

A aplicação de Se em baixas concentrações em plantas submetidas a diversos estresses ambientais pode reduzir o excesso de ERO produzido na célula, especialmente das espécies superóxido ( $O_2^-$ ) e/ou peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (FENG; WEI; TU, 2013).

Vários estudos têm demonstrado que, em baixas concentrações, o Se exerce efeito benéfico sobre o crescimento das plantas e a tolerância a estresses ambientais (PILON-SMITS *et al.*, 2009; DIAO *et al.*, 2014; MALAGOLI *et al.*, 2015). Esses efeitos positivos, provavelmente, estão relacionados com o aumento da capacidade antioxidante, tanto em diminuir a peroxidação de lipídios quanto em aumentar a atividade de enzimas antioxidantes como catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD) e glutatona peroxidase (GPX) (FENG; WEI; TU, 2013).

No entanto, em elevadas concentrações, o Se tem desencadeado efeitos negativos nas plantas, com redução no crescimento e intensificação dos processos peroxidativos, ocasionando superprodução de ERO (HAWRYLAK-NOWAK, 2013).

Os efeitos positivos de baixas concentrações de Se também contribuem na eficiência do processo fotossintético, devido ao aprimoramento da atividade antioxidante nas células, o que afeta positivamente a fotossíntese, os pigmentos fotossintéticos (DIAO *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2014; FENG *et al.*, 2015), a condutância estomática, concentração de  $CO_2$  intercelular e eficiência de transpiração (ZHANG *et al.*, 2014).

As plantas possuem capacidades diferentes em acumular e tolerar Se, podendo ser classificadas como não-acumuladoras, acumuladoras e hiperacumuladoras (WHITE *et al.*, 2009). As plantas hiperacumuladoras de Se são nativas de solos seleníferos e acumulam Se em níveis 100 vezes maiores do que as plantas não-acumuladoras, sendo capazes de acumular teores superiores a  $2.000\text{ mg Kg}^{-1}$ , como é o caso das plantas dos gêneros *Astragalus*, *Stanleya*, *Morinda*, *Neptunia*, *Oonopsis*, *Xylorhiza* e *Cardamine* (WHITE, 2016).

As plantas acumuladoras crescem em solos com teores de Se variando de baixo a médio e podem acumular até  $1.000\text{ mg Kg}^{-1}$  de Se na matéria seca. Exemplos de plantas desse grupo são a mostarda indiana (*Brassica juncea*) e canola (*B. napus*). A maior parte das culturas agrícolas apresentam baixa tolerância a altas concentrações de Se, apresentando, geralmente, menos de  $25\text{ mg Kg}^{-1}$  de Se na massa seca e são classificadas como não acumuladoras (TERRY *et al.*, 2000).

As espécies de plantas variam em sua capacidade de absorção de Se, em ordem decrescente: crucíferas, gramíneas forrageiras e leguminosas (MALAVOLTA, 1980). Assim, em função da concentração de Se fornecido, esse exerce duplo efeito no crescimento das plantas. Em baixas concentrações, o Se atua como um antioxidante sendo benéfico para o

crescimento das mesmas, enquanto em altas concentrações promove fitotoxicidade (HAWRYLAK-NOWAK, 2013; GUERRERO *et al.*, 2014; HAWRYLAK-NOWAK; MATRASZEK; POGORZELEC, 2015).

Cartes (2005) sugere que a adição de Se ao solo pode melhorar a qualidade da forragem, diminuindo a senescência e melhorando a persistência de pastagens deficientes em Se. Portanto, é necessário traçar estratégias corretas para o manejo do Se como fertilizante e desenvolver metodologias adequadas para a análise de Se tanto em plantas quanto em solos, capazes de fornecer indicações confiáveis sobre o real teor de Se na forragem.

### 3.4. Potássio em plantas forrageiras

O Potássio (K) é o quarto nutriente mais abundante em rochas e presente nos solos, podendo atingir concentrações de 0,3 a 30 g Kg<sup>-1</sup>, as quais são um pouco menores em regiões tropicais (0,9 a 19 g Kg<sup>-1</sup>), onde a maior parte (98%) é encontrado na estrutura dos minerais primários e secundários (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). O teor médio de K na crosta terrestre está em torno de 23 g Kg<sup>-1</sup>, sendo a maior parte deste elemento constituinte de argilominerais. Em solos orgânicos frequentemente os teores de argila e K são baixos e, portanto, a principal fonte deste elemento para o crescimento dos vegetais, em condições normais, é a intemperização de minerais como feldspato e mica (LAVRES JR, 2001).

O K do solo é formado pelo K da solução, K trocável e não trocável e o K estrutural. E o suprimento deste nutriente para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos coloides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e estrutural dos minerais (OTTO; VITTI; LUZ, 2010). O teor trocável é a principal fonte de reposição do K para a solução, o qual pode ser absorvido pelas plantas, adsorvido às cargas negativas do solo ou perdido por lixiviação (FARIA *et al.*, 2012).

O K é um elemento essencial para todos os organismos vivos, sendo o cátion mais importante nos processos fisiológicos das plantas não somente pela sua concentração nos tecidos vegetais, mas também pelas suas funções bioquímicas (MENGEL & KIRKBY, 2001). A exigência de K para o ótimo crescimento das plantas varia entre 20 a 50 g Kg<sup>-1</sup> de massa seca do vegetal (LAVRES JR e MONTEIRO, 2002).

Está presente nas plantas na forma de K<sup>+</sup> e é altamente móvel. Desempenha várias funções na vida do vegetal, como no processo de regulação do potencial osmótico das células, é ativador de muitas enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, participa na

translocação de carboidratos, aumenta a resistência à salinidade, geada, seca, doenças e ao acamamento e confere qualidade aos produtos (TAIZ & ZEIGER, 1998).

De acordo com Simili (2010) esse nutriente participa direta ou indiretamente de inúmeros processos bioquímicos envolvidos com o metabolismo de carboidratos, como a fotossíntese e a respiração, e sua carência reflete-se numa baixa taxa de crescimento. Portanto, recomenda-se realizar a aplicação desse nutriente conforme as plantas se desenvolvem, visando reduzir perdas no sistema e aumentar a sua eficiência de utilização (OTTO; VITTI; LUZ, 2010).

Na deficiência de K, a mobilidade de fotoassimilados é baixa acumulando nas folhas sacarose, promovendo o lento desenvolvimento da raiz para tentar suprir a carência de K no metabolismo da planta (ZORB; SENBAYRAM; PEITER, 2013) e a síntese de matéria orgânica também é reduzida. O fornecimento adequado de K eleva a taxa fotossintética e os íons de K acumulados nas folhas participam na conversão de energia e os fotoassimilados são removidos rapidamente (CAMPOS, 2015).

É comum expressar o teor de K nas plantas com a porcentagem de massa seca, mas a diferente absorção de K entre as plantas está atribuída à estrutura, comprimento e densidade radicular (ZORB; SENBAYRAM; PEITER, 2013). Além disso, o nível de K na planta determina o perfil e a distribuição dos metabólitos primários, sendo que a deficiência de K pode aumentar a quantidade de açúcares solúveis na planta e inibir a atividade de duas enzimas essenciais: assimilação de CO<sub>2</sub> e carboxilase (AMTMANN; RUBIO, 2012). E conseqüentemente a baixa concentração de CO<sub>2</sub> na atividade da fotossíntese conduz ao aumento de espécies reativas ao oxigênio (ROS) inibindo a fixação de carbono (ZORB; SENBAYRAM; PEITER, 2013).

As plantas em condições de carência deste nutriente apresentam turgidez reduzida, e sob deficiência de água tornam-se flácidas, sendo pouco resistentes à seca e mais susceptíveis ao ataque de fungos. Nas áreas dedicadas a pastagens não é generalizada a ocorrência de baixos teores de K trocável (SANCHÊS *et al.*, 2013), porém a sua exportação em áreas com plantas forrageiras submetidas a cortes com remoção da forragem (áreas de capineira, produção de mudas e fenação) deve merecer uma atenção especial (SANCHÊS *et al.*, 2013).

As plantas forrageiras deficientes em K apresentam colmos finos, raquíuticos e pouco resistentes ao acamamento, às folhas são pouco desenvolvidas e em fases mais avançadas de deficiência ocorre a clorose e posterior necrose nas pontas e nas margens, afetando assim a produtividade da planta forrageira.

Também pode limitar a resposta da produção de forrageiras de maior exigência nutricional, especialmente em sistemas intensivos, onde as relações inadequadas dos nutrientes podem prejudicar a nutrição mineral das plantas (BERNARDI, 2008). Portanto, o regime de fertilização potássica deverá ser manejado de acordo com a capacidade do solo em suprir este elemento para as plantas, pelo total de K removido nos ciclos de pastejo. Também deve-se atentar para a reciclagem deste nutriente através das fezes e urina dos animais, que mesmo não tendo uniforme distribuição na área de pastagem, contribui com a entrada deste elemento nas áreas de pastagens (FARIA *et al.*, 2015).

### 3.5. Interações nutricionais

A entrada de um nutriente do meio externo (solo) para o meio interno (planta) depende de vários fatores. Os nutrientes se comportam de maneiras diferentes, como também podem ter vias ou locais distintos para serem absorvidos, podendo ser vias exclusivas ou compartilhadas por mais de um nutriente, onde estão propensos a interações que podem prejudicá-los na absorção pela planta (ARAUJO & SILVA, 2012).

A interação entre nutrientes em plantas de cultivo ocorre quando o fornecimento de um elemento afeta a absorção e a utilização de outros elementos. Este tipo de interação é mais comum quando um elemento está em excesso de concentração no meio de crescimento (FAGERIA, 2001; FAGERIA *et al.*, 1999). De acordo com Prado (2008) e Silva e Trevizam (2015), apesar do processo de absorção de elementos ser específico e seletivo, existe certa competição entre eles, podendo ser favorável (sinérgica), quando um íon auxilia a absorção de outro, ou desfavorável (antagônica), quando a absorção de um íon é prejudicada pela presença de outro.

Além disso, as interações de nutrientes podem ocorrer na superfície da raiz ou dentro da planta e podem ser classificadas em duas categorias principais. Na primeira categoria estão as interações que ocorrem entre os íons, porque os íons podem dar forma a uma ligação química (FAGERIA, 2001). As interações neste caso são devidas à formação de precipitados ou complexos. A segunda forma de interação é entre os íons cujas propriedades químicas são suficientemente semelhantes para competir pelo local de adsorção, absorção, transporte e função em superfícies de raízes de plantas ou dentro de tecidos de plantas. Tais interações são mais comuns entre nutrientes de tamanho semelhante, carga, geometria de coordenação e

segurança eletrônica (ROBSON *et al.*, 1983). Este tipo de interação é comum entre  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , e  $\text{Na}^+$ .

Marschner (2012) afirma que, na realidade, os transportadores iônicos raramente são específicos e os íons podem competir diretamente pelo transporte. Esta competição é influenciada pelas propriedades do próprio transporte e pela diferença na concentração dos íons na solução. Espécies, cultivares, como também o estágio de desenvolvimento da planta, influenciam os efeitos antagônicos e sinérgicos.

A interação de elementos também é influenciada por fatores como a concentração de nutrientes, temperatura, intensidade luminosa, arejamento do solo, umidade do solo, pH do solo, arquitetura da raiz, taxa de transpiração e respiração das plantas, idade das plantas e taxa de crescimento, espécies vegetais e concentração interna de nutrientes das plantas (FAGERIA, 2001). Como a interação ocorre, as mudanças são iniciadas no nível subcelular, que pode, em última análise, ser manifestada através de mudanças nas taxas de respiração, fotossíntese, divisão e expansão celular, utilização e translocação de carboidratos e ácidos orgânicos. A influência líquida dessas interações e processos produz o rendimento final de uma cultura (PRADO, 2008; ARAUJO & SILVA, 2012).

Em plantas agrícolas, as interações iônicas são avaliadas por meio da resposta de crescimento, produção e mudança na concentração de nutrientes no tecido vegetal (FAGERIA, 2001; ROBSON; PITMAN, 1983).

### **3.6. Interações iônicas do potássio**

O K é um nutriente que desempenha diversas funções nos processos de metabolismo das plantas. Atua na ativação de enzimas, como um osmótico para manter a pressão de turgor do tecido, regulando a abertura e o fechamento de estômatos, e equilibrando a carga de ânions (particularmente ácidos orgânicos sintetizados durante o metabolismo de carboidratos) essas são funções fisiológicas do K em células vegetais (VETTERLEIN, 2013).

De acordo com Ernani *et al.* (2007), o K compete com vários cátions pelos sítios de absorção na membrana plasmática, principalmente com  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . A soma total dos cátions absorvidos por determinada espécie vegetal normalmente permanece relativamente pouco afetada pela variação na composição do meio na qual ela se desenvolve (ERNANI *et al.*, 2007). Sendo assim, a diminuição na disponibilidade de determinado cátion resulta no aumento na absorção dos demais.

O nível adequado de K é essencial para o uso eficiente de N em plantas de cultivo. A interação N e K obedece à lei do mínimo, pois quando o N é aplicado em quantidade suficiente para haver elevação da produção, esta passa a ser limitada pelos baixos teores de K aplicado. Assim, as maiores doses de N somente promoverão a maior produção se acompanhadas de altas doses de K (PRADO, 2008).

O K tem efeitos antagônicos na absorção de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em grandes concentrações, que depende das espécies de plantas e condições ambientais. O efeito depressivo do K na absorção de Mg em concentrações mais altas pode ser interpretado como o resultado da competição pela ligação produzida metabolicamente por compostos (MEURER, 2006). Grunes *et al.* (1992) descobriram que a fertilização com K aumentou significativamente as concentrações de K no tecido das plantas e também as concentrações de Mg e Ca em três gramíneas de estação fria.

Gupta (1979) relatou a diminuição dos níveis de boro (B) em plantas com K aplicado ou quando cultivado em solos com altos níveis de K. Alguns trabalhos mostram que o aumento no suprimento de B aumentou a absorção e a translocação de K em tomate (Davis *et al.*, 2003) e soja (Ernani *et al.*, 2007).

Smith (1975) trabalhando com alfafa adequadamente fertilizada com P, relatou que o tratamento de cobertura com K reduziu os níveis de  $\text{Cu}^{2+}$  na forragem. Bolle-Jones (1955) estudou a fertilização da cultura da batata e descobriu que adicionando K houve uma leve redução dos sintomas de deficiência de  $\text{Fe}^{2+}$ . Ramani e Kannan (1974) observaram que K,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  desempenham um papel significativo na regulação da absorção de  $\text{Mn}^{2+}$  pelas plantas. Os cátions promovem a absorção quando o  $\text{Mn}^{2+}$  está presente em pequenas quantidades ou efetivamente diminui a absorção de  $\text{Mn}^{2+}$  quando está presente em quantidades elevadas que podem ser tóxicas. Shukla e Mukhi (1980) relataram que a utilização de  $\text{Zn}^{2+}$  pelo milho aumentou com o aumento das taxas de K.

### **3.7. Interações iônicas do selênio**

O Se interage principalmente com N, P e S (ZHOU *et al.*, 2020). A interação mais conhecida do Se é com o S, onde o Se apresenta propriedades químicas semelhantes às do S e, por isso, partilham vias metabólicas em comum (SILVA & TREVISAN, 2015). Para o Se, os fertilizantes de S produzem principalmente uma inibição competitiva em relação à absorção

de Se. Mackowiak e Amacher (2008) mostraram que a aplicação de fertilizantes com S reduziu a absorção de Se por plantas como alfafa e grama de trigo.

Na interação com N, seu efeito na absorção de Se pelas plantas é bidirecional. Reis *et al.* (2018) demonstraram que, em arroz, com o aumento da aplicação de N, a concentração de Se nos grãos aumentou. Da mesma forma, Chen *et al.* (2016) mostraram que a fertilização com alto teor de N pode promover a absorção e translocação de Se no trigo em solos com baixo teor de Se. Essa interação entre N e Se pode ser explicada da seguinte forma: a aplicação de N ativa o metabolismo de Se e aumenta a assimilação de Se por aumentar a O-acetilserina, um regulador chave do metabolismo de Se na síntese de cisteína em plantas superiores, e então aumenta a síntese de cisteína e proteína (Kim *et al.*, 1999).

Já a interação entre Se e P mostra que embora P e Se não sejam congêneres, ambos são absorvidos pelas plantas quando presentes na forma aniônica no solo, e possuem raios iônicos e propriedades físicas e químicas semelhantes. Portanto, espera-se que a competição com os ânions oxiácidos no solo afete a absorção e o acúmulo de Se pelas plantas (ZHOU, 2020).

No entanto, alguns trabalhos citados na literatura sobre a relação entre a absorção de Se pelas plantas e os níveis e aquisição de P têm mostrado resultados conflitantes. O fosfato de hidrogênio pode reduzir significativamente a absorção de Se do solo por competição, no entanto, aumentando as concentrações de Se na solução do solo, este é facilmente absorvido pelas plantas (LEE *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2015). Zhang *et al.*, (2017) relataram que a adubação fosfatada junto com Se poderia reduzir significativamente o acúmulo de Se no trigo em solo calcário, mas no caso da adubação fosfatada junto com Se, houve aumento do acúmulo de Se no trigo.

A literatura atual não contém estudos sobre a interação entre o Se e o K. No entanto, é importante considerar que o Se possui propriedades químicas semelhantes às do S, e ambos compartilham vias metabólicas comuns. Nesse contexto, é relevante destacar a relação entre o K e o S. De acordo com Yang *et al.* (2007), há uma interação entre o K e o S, em que o K ativa uma enzima envolvida na síntese de cisteína. A cisteína é um aminoácido crucial, que não apenas fornece S, mas também desempenha um papel essencial no sistema de defesa das plantas.

Um exemplo dessa interação foi fornecido em um estudo realizado por Mota *et al.* (2021), no qual eles investigaram as combinações de S e K em relação ao Capim Xaraés e ao Capim Zuri. Os resultados demonstraram um sinergismo entre esses elementos, levando a um aumento significativo no desenvolvimento das gramíneas e na produção de matéria seca.

Notavelmente, quando os elementos foram analisados de forma isolada ou ausentes, as plantas não apresentaram a mesma resposta.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, Brasil. As coordenadas geográficas do local de estudo são 21° 14' 43" de latitude sul e 44° 59' 59" de longitude oeste, com altitude de 918 metros. O clima da região de Lavras é caracterizado como Cwa, com invernos frios e secos e verões quentes e chuvosos, com médias anuais de temperatura e precipitação de 20,4°C e 1460 mm, respectivamente (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

### 4.2. Solo

O solo utilizado no experimento é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico de textura média, coletado na camada de 0 – 20 cm de profundidade de área não cultivada. As análises físicas e químicas do solo apresentaram os seguintes resultados: areia = 68 g Kg<sup>-1</sup>; silte = 4 g Kg<sup>-1</sup>; argila = 28 g Kg<sup>-1</sup>; pH = 4,9; matéria orgânica (M.O.) = 1,33 g Kg<sup>-1</sup>; P-remanescente = 37,10 mg L<sup>-1</sup>; P-Mehlich = 0,01 mg dm<sup>-3</sup>; K = 42,38 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 2,13 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,25 cmolc dm<sup>-3</sup>; S = 2,60 mg dm<sup>-3</sup>; Al = 0,10 cmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al = 2,80 cmolc dm<sup>-3</sup>; soma de bases (S.B.) = 2,49 cmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca de cátions a pH 7 (T) = 5,29 cmolc dm<sup>-3</sup>; saturação por bases (V) = 47%; Zn = 0,30 mg dm<sup>-3</sup>; Fe = 25,20 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 4,50 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 0,86 mg dm<sup>-3</sup>; B = 0,05 mg dm<sup>-3</sup> e. Os extratores utilizados foram: pH = CaCl<sub>2</sub>; matéria orgânica (M.O.): oxidação com Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> = extrator KCl (1 mol L<sup>-1</sup>); H+Al = extrator SMP; P-Mehlich, K, Fe, Zn, Mn e Cu = extrator Mehlich-1; B = extrator solúvel em água quente e S = extrator de fosfato monocalcico em ácido acético (DONAGEMA *et al.*, 2011).

### 4.3. Delineamento experimental e condução

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4x3, contendo duas espécies forrageiras (*Brachiaria ruziziensis* e *Andropogon gayanus*), quatro doses de Se: 0, 0,25, 0,75 e 1,5 mg dm<sup>-3</sup> (CARTES, 2005; RAMOS, 2012). Três doses de K: 120, 150 e 180 mg dm<sup>-3</sup> (MALAVOLTA, 1980), com quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais. Foram utilizados vasos com 5 dm<sup>3</sup> de solo.

Com base nos resultados da análise química, o solo foi corrigido com calcário dolomítico (PRNT 80%) visando elevar a saturação por bases para 60%. Após 30 dias da correção do solo, foi aplicada a adubação de plantio que contou com 7,20 g dm<sup>-3</sup> de P e 1,32 g dm<sup>-3</sup> de S, utilizando o superfosfato triplo e o sulfato de cálcio como fontes. Em seguida as espécies foram semeadas diretamente ao solo, sem tratamento prévio.

O desbaste foi realizado sete dias após a emergência (DAE), sendo selecionadas seis plantas vigorosas por vaso. As adubações de N e K foram divididas em três parcelas, com intervalo de 30 dias. Foi aplicado 0,9 g dm<sup>-3</sup> de N na primeira parcela e assim sucessivamente, usando como fonte a ureia.

A adubação de micronutrientes ocorreu 20 dias após emergência das plantas sendo constituída pela aplicação de 2,20 g de Mn, 0,08g de Cu, 2,86 g de B, 0,22 g de Zn e 0,018 g de Mo por dm<sup>3</sup> de solo, utilizando como fontes: sulfato de manganês, sulfato de cobre, ácido bórico, sulfato de zinco e ácido molibdico. E a adubação de Se ocorreu 15 dias antes de cada corte. O experimento contou com três cortes, sendo executado cada corte 40 DAE. A irrigação durante o período de experimento foi feita de acordo com a necessidade da planta.

As fontes de K e Se utilizadas foram o Cloreto de potássio e o Selenato de sódio, respectivamente.

### 4.4. Análises

Durante a realização do experimento, foram conduzidas análises morfogênicas para monitorar o desenvolvimento das plantas. Essas análises incluíram medições de comprimento de colmo, comprimento de folhas, taxa de aparecimento de folhas novas e taxa de senescência foliar. Para coletar os dados relacionados à morfogênese, três perfilhos foram identificados em cada unidade experimental com fita crepe branca, e medições foram registradas uma vez

por semana. A primeira medição foi feita sete dias após a emergência (DAE), e o mesmo intervalo de tempo foi mantido após cada corte subsequente.

O comprimento do colmo foi medido a partir do solo até a base da última folha emergida. O comprimento da lâmina foliar foi medido até sua completa expansão, ou seja, até o momento em que a lígula (uma pequena estrutura de tecido na base da folha) se tornou visível. O comprimento da lâmina emergente foi medido do ápice da folha até a lígula da última folha completamente expandida, ou até a completa expansão da própria lâmina. A senescência foliar foi identificada pelo amarelecimento da ponta da lâmina foliar, sendo consideradas como folhas senescentes (mortas) aquelas em que mais de 50% da sua lâmina apresentava coloração amarelada.

Com os dados registrados nas planilhas, foram calculadas as seguintes variáveis: Taxa de alongamento de colmo (TAIC – cm/perfilho/dia): calculado pela diferença entre o comprimento final e o comprimento inicial dos colmos em expansão dividido pelo número de dias entre as avaliações; Taxa de Alongamento de Folhas (TAIF - cm/perfilho/dia) - foi obtida subtraindo-se o comprimento total inicial de lâminas foliares do comprimento total final e dividindo-se a diferença pelo número de dias envolvidos; Taxa de Aparecimento de Folhas (TApF - folhas/perfilho/dia) - foi obtida pela divisão do número de folhas completamente expandidas (lígula exposta) surgidas por perfilho pelo número de dias envolvidos e Taxa de Senescência de Folhas (TSF - cm/perfilho/dia) - foi calculada dividindo-se o comprimento final total do tecido senescente, pelo número de dias envolvido (MAGALHÃES, 2013)

A cada corte as plantas foram colhidas, pesadas e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à 65-70°C, até a obtenção de peso constante. A massa seca da parte aérea (MSPA, g vaso<sup>-1</sup>) foi obtida por meio da pesagem em balança eletrônica de precisão (0,0001 g). As amostras da parte aérea foram moídas no moinho tipo Wiley (peneira de 40 mesh). O teor total de N na parte aérea foi determinado pelo método de Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Os teores de Se e K na parte aérea, bem como os teores de macro e micronutrientes foram determinados após digestão ácida, conforme Malavolta; Vitti & Oliveira (1997) adaptado por Silva Júnior *et al.* (2017). As amostras digeridas foram analisadas por meio do espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES).

Passados os três cortes foram retiradas as raízes, onde as mesmas foram lavadas em água corrente até que não houvesse nenhum resíduo de solo. Após esse procedimento, seguiu os mesmos passos já citados para a parte aérea das plantas (secagem, pesagem, moagem e análises químicas).

A partir da matéria seca e do conteúdo dos nutrientes na planta, foram calculados os índices: eficiência de absorção (EA) = (acúmulo parte aérea + raiz) / (matéria seca de raízes), conforme Swiader *et al.* (1994) e eficiência de utilização (EU) = [ (massa seca total) <sup>2</sup> / (acúmulo parte aérea + raiz) ], segundo Siddiqi & Glass (1981).

#### 4.5. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). As interações entre os fatores foram avaliadas e as médias comparadas por meio do teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2020).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. *Andropogon gayanus*

#### 5.1.1. Morfogênese

A Taxa de alongamento de colmo (TAIC) do Capim andropógon não respondeu de forma diferenciada a aplicação das doses de Se nos três cortes (TABELA 1). Como também não houve influência na aplicação das doses de K no segundo e terceiro cortes (TABELA 2). Contudo a aplicação de 120 mg dm<sup>-3</sup> de K no primeiro corte apresentou uma significância em relação a TAIC com média de 0,43 cm perfilho<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e incremento de 22,86% em relação a dose de menor média (180 mg dm<sup>-3</sup> de K) (TABELA 2).

**Tabela 1** - Taxa de alongamento de colmo (TAIC) do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	TAIC (cm perfilho <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )		
	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
0	0,38 a	0,27 a	0,26 a
0,25	0,42 a	0,33 a	0,32 a
0,75	0,40 a	0,39 a	0,30 a

1,5	0,36 a	0,33 a	0,28 a
-----	--------	--------	--------

**Tabela 2** - Taxa de alongamento de colmo (TAIC) do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

TAIC (cm perfilho <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )			
Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
120	0,43 a	0,33 a	0,33 a
150	0,39 ab	0,36 a	0,32 a
180	0,35 b	0,30 a	0,23 a

A taxa de alongamento foliar (TAIF) não foi influenciada significativamente pelo fornecimento de Se e K em nenhum dos três cortes, onde apresentaram médias bem aproximadas entre as diferentes doses aplicadas (TABELA 3 e 4).

**Tabela 3** - Taxa de alongamento foliar (TAIF) do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

TAIF (cm perfilho <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )			
Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
0	1,60 a	0,92 a	0,69 a
0,25	1,54 a	0,93 a	0,79 a
0,75	1,44 a	0,82 a	0,71 a
1,5	1,35 a	0,71 a	0,54 a

**Tabela 4** - Taxa de alongamento foliar (TAIF) do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

TAIF (cm perfilho <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )			
Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
120	1,40 a	0,84 a	0,72 a
150	1,55 a	0,89 a	0,71 a
180	1,50 a	0,80 a	0,63 a

A Taxa de aparecimento foliar (TapF) também não foi significativa nos três cortes, não respondendo as doses de Se e K, com médias muito aproximadas entre si (TABELA 5 e 6).

**Tabela 5** - Taxa de aparecimento foliar (TApF) do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

TApF (folhas perfilho <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )			
Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
0	0,21 a	0,11 a	0,11 a
0,25	0,21 a	0,12 a	0,13 a
0,75	0,21 a	0,12 a	0,12 a
1,5	0,20 a	0,12 a	0,11 a

**Tabela 6** - Taxa de aparecimento foliar (TApF) do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

TApF (folhas perfilho <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )			
Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
120	0,21 a	0,12 a	0,12 a
150	0,21 a	0,12 a	0,11 a
180	0,21 a	0,12 a	0,11 a

A Taxa de senescência foliar (TSF) também não foi significativa nos três cortes, não respondendo a aplicação das diferentes doses de Se e K (TABELA 7 e 8).

**Tabela 7** - Taxa de senescência foliar (TSF) do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

TSF (cm perfilho <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )			
Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
0	0,66 a	0,40 a	0,46 a
0,25	0,79 a	0,37 a	0,53 a
0,75	0,83 a	0,30 a	0,36 a
1,5	0,63 a	0,23 a	0,33 a

**Tabela 8** - Taxa de senescência foliar (TSF) do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	TSF (cm perfilho <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )		
	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
120	0,80 a	0,36 a	0,33 a
150	0,70 a	0,30 a	0,55 a
180	0,69 a	0,32 a	0,38 a

A compreensão dos processos morfofisiológicos e sua interação com a fertilidade do solo é fundamental para o entendimento dos mecanismos das plantas forrageiras, tanto a curto quanto a longo prazo (Rodrigues *et al.*, 2012). O estudo da morfogênese permite descrever os processos de crescimento, adaptação ecológica e acúmulo de forragem de espécies específicas, o que contribui para a adoção de práticas de manejo eficientes e adequadas a cada tipo de forrageira (Gomide *et al.*, 2019).

Até certo ponto, as gramíneas forrageiras têm a capacidade de se ajustar às diferentes disponibilidades de K no solo e desenvolvem respostas adaptativas que envolvem principalmente mudanças na parte aérea, como estímulo ao crescimento ou aumento da morte de tecidos (Cabral *et al.*, 2020). No entanto, neste trabalho, não foram observadas respostas significativas das taxas morfogênicas no Capim andropogon às doses de K. Isso contrasta com o estudo de Vêras (2021), que analisou as respostas morfogênicas e estruturais de diferentes cultivares de *Brachiaria* submetidas a doses crescentes de K (0, 205, 410 e 820 mg dm<sup>-3</sup>). Vêras verificou interação entre a dose de K e a cultivar para a TApF, TAIC e TSF. As doses crescentes de K resultaram em um aumento linear positivo na TApF e TAIC, mas uma redução na TSF.

Não foram encontrados estudos com Se em forrageiras para discussão das taxas morfogênicas. No entanto, é importante ressaltar que o presente estudo foi conduzido em condições de casa de vegetação, e é possível que o ambiente controlado tenha limitado a

manifestação dos efeitos benéficos do Se e do K nas plantas de Capim andropógon, resultando em uma falta de respostas às adubações.

## 5.1.2. Nutricionais

### 5.1.2.1. Matéria seca

A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) do Capim andropógon não foi significativa em relação as doses de Se nos três cortes, os quais apresentaram valores médios aproximados para as diferentes doses (TABELA 9). As diferentes doses de K no primeiro e terceiro corte não demonstraram significância para a produção de MSPA (TABELA 10). No segundo corte houve efeito das doses de K na produção de MS (TABELA 10), sendo que a dose mais alta (180 mg dm<sup>-3</sup>) foi a que mais produziu, apresentando um valor médio de 6,27 g vaso<sup>-1</sup>, com um incremento de 38,41% em relação a dose de menor média (120 mg dm<sup>-3</sup> de K).

**Tabela 9** - Massa seca da parte aérea (MSPA) no Capim andropógon (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

MSPA (g vaso <sup>-1</sup> )			
Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
0	5,99 a	5,48 a	5,06 a
0,25	5,93 a	5,44 a	5,74 a
0,75	6,19 a	5,87 a	5,48 a
1,5	5,17 a	4,91 a	5,00 a

**Tabela 10** - Massa seca da parte aérea (MSPA) no Capim andropógon (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

MSPA (g vaso <sup>-1</sup> )			
Doses de K	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte

(mg dm <sup>-3</sup> )			
120	5,50 a	4,53 b	5,38 a
150	5,75 a	5,49 ab	5,33 a
180	6,22 a	6,27 a	5,24 a

Para produção de MSR, o Capim andropógon apresentou resposta para as doses Se. Com a aplicação de Se pode-se notar uma tendência a diminuição da MSR, que ficou evidente na maior dose estudada, 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se (TABELA 11). A dose mais alta de K (180 mg dm<sup>-3</sup>) na produção de MSR se destacou, apontando média de 10,84 g vaso<sup>-1</sup> e um incremento de 17,83% em relação a dose de menor média (150 mg dm<sup>-3</sup> de K) (TABELA 11).

**Tabela 11** - Massa seca da raiz (MSR) no Capim andropógon (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	MSR (g vaso <sup>-1</sup> )
0	10,78 a
0,25	10,38 a
0,75	10,19 a
1,5	8,03 b
Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	MSR (g vaso <sup>-1</sup> )
120	9,50 b
150	9,20 b
180	10,84 a

O Capim não apresentou resultados expressivos na produção de MS e não houve interação significativa entre as doses de Se e K. Observou-se uma tendência de redução no rendimento de MSPA e da MSR nas doses mais elevadas de Se, o que está alinhado com os achados de Ramos (2012). Este autor constatou um aumento no rendimento de massa seca da raiz e da parte aérea da *Brachiaria brizantha* em níveis mais baixos de Se e uma diminuição do rendimento nos níveis mais altos. No maior nível de Se fornecido (6 mg Kg<sup>-1</sup>), Ramos (2012) encontrou uma redução no rendimento da parte aérea de 15% e 7% para as raízes, quando o Se foi fornecido na forma de selenato. Isso corrobora com as observações de Cartes (2005), que observou um efeito inibitório no crescimento das plantas de azevém quando tratadas com selenato, especialmente em concentrações de Se na parte aérea superiores a 150 mg Kg<sup>-1</sup>.

De acordo com Santos *et al.* (2019), a extração pela planta de maiores quantidades de K normalmente resulta em uma maior concentração de K na parte aérea, o que, por sua vez, garante uma maior produção de massa de forragem. No entanto, essa tendência não foi observada neste trabalho, onde as doses de K não influenciaram significativamente a produção de MS. Isso está em contraste com as constatações de Vêras (2021), que afirmou que, à medida que as doses de K aumentam em cultivares de *Brachiaria*, a produção de massa seca também aumenta. No entanto, esse comportamento foi observado apenas no segundo corte e nas raízes do Capim.

### 5.1.2.2. Teor e acúmulo de selênio

Como esperado as doses de Se fornecidas influenciaram significativamente nos teores de Se da parte aérea do Capim andropógon nos três cortes. Em todos os cortes a maior dose de Se ( $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) aplicada apresentou maiores valores, sendo observadas médias de 65,72, 93,76 e  $141,53 \text{ mg Kg}^{-1}$ , respectivamente. Seguindo a mesma ordem, foi observado um incremento de 51, 92 e 95 vezes maior na dose  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se em relação a dose controle ( $0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se) (TABELA 12). Por outro lado, a aplicação das doses de K não influenciou de forma diferenciada nos teores de Se da parte aérea em nenhum dos três cortes (TABELA 13).

**Tabela 12** - Teor de selênio da parte aérea no Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Teor de Se da parte aérea ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )			
Doses de Se ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
0	1,25 c	1,00 c	1,47 c
0,25	12,8 bc	17,67 c	22,22 c
0,75	29,39 b	59,32 b	74,69 b
1,5	65,72 a	93,76 a	141,53 a

**Tabela 13** - Teor de selênio da parte aérea no Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Teor de Se da parte aérea ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )			
Doses de K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
120	50,39 a	41,79 a	50,39 a

<b>150</b>	70,20 a	42,76 a	70,20 a
<b>180</b>	59,34 a	44,25 a	59,34 a

Os teores de Se na raiz do Capim foram significativamente influenciados pela dose de Se aplicada, obtendo uma variação bem acentuada da relação dose mais alta para a mais baixa (TABELA 14). A dose mais alta (1,5 mg dm<sup>-3</sup>) obteve um valor de 53,19 mg Kg<sup>-1</sup> com um incremento 66 vezes maior em relação ao controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se). Contudo, como observado na parte aérea, os teores de Se não apresentaram resposta significativa as diferentes doses de K fornecidas (TABELA 14).

**Tabela 14** - Teor de selênio da raiz no Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05).

<b>Doses de Se (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Teor de Se da raiz (mg Kg<sup>-1</sup>)</b>
0	6,99 d
0,25	15,56 c
0,75	36,72 b
1,5	53,19 a

<b>Doses de K (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Teor de Se da raiz (mg Kg<sup>-1</sup>)</b>
120	29,05 a
150	29,62 a
180	27,68 a

As doses de Se influenciaram significativamente no acúmulo de Se da parte aérea do Capim andropógon nos três cortes. Em todos os cortes a maior dose de Se (1,5 mg dm<sup>-3</sup>) aplicada apresentou maiores valores de 0,36, 0,45 e 0,72 mg vaso<sup>-1</sup>, respectivamente. Seguindo a mesma ordem, foi observado um incremento de 50, 89 e 101 vezes maior na dose 1,5 dm<sup>-3</sup> de Se em relação a dose controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se) (TABELA 15). Por outro lado, a aplicação das doses de K não influenciou de forma diferenciada no acúmulo de Se da parte aérea em nenhum dos três cortes (TABELA 16).

**Tabela 15** - Acúmulo de selênio da parte aérea no Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05).

<b>Acúmulo de Se da parte aérea (mg Kg<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Doses de Se (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Primeiro corte</b>	<b>Segundo corte</b>	<b>Terceiro corte</b>
<b>0</b>	0,007 c	0,005 b	0,007 c
<b>0,25</b>	0,07 bc	0,09 b	0,12 bc

0,75	0,17 b	0,35 a	0,41 b
1,5	0,36 a	0,45 a	0,72 a

**Tabela 16** - Acúmulo de selênio da parte aérea no Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	Acúmulo de Se da parte aérea (mg Kg <sup>-1</sup> )		
	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
120	0,14 a	0,18 a	0,28 a
150	0,15 a	0,20 a	0,36 a
180	0,16 a	0,28 a	0,30 a

O acúmulo de Se na raiz do Capim foram significativamente influenciados pela dose de Se aplicada, obtendo uma variação bem acentuada da relação dose mais alta para a mais baixa (TABELA 17). A dose mais alta (1,5 mg dm<sup>-3</sup>) obteve um valor de 0,42 mg vaso<sup>-1</sup> com um incremento de 500% em relação ao controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se). Contudo, como observado na parte aérea, o acúmulo de Se não apresentaram resposta significativa as diferentes doses de K fornecidas (TABELA 17).

**Tabela 17** - Acúmulo de selênio da raiz no Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	Acúmulo de Se da raiz (mg Kg <sup>-1</sup> )
0	0,07 b
0,25	0,16 b
0,75	0,38 a
1,5	0,42 a

Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	Acúmulo de Se da raiz (mg Kg <sup>-1</sup> )
120	0,26 a
150	0,23 a
180	0,23 a

Os teores de Se aumentaram a cada corte, o que pode ser explicado pelo fato de que as adubações de Se precederam cada corte, resultando em uma maior concentração do elemento no solo, que foi direcionado para a parte aérea da planta. No entanto, não houve interação entre as doses de Se e K nas concentrações de Se no Capim.

As concentrações de Se aumentaram com a aplicação das doses mais elevadas de Se, o que está de acordo com os resultados de Hall *et al.* (2023). Em seu estudo, eles trabalharam

com a adubação de Se (0, 45 e 90 g ha<sup>-1</sup>) em diferentes gramíneas forrageiras e constataram que a adição de selenato a 45 e 90 g ha<sup>-1</sup> de Se aumentou as concentrações médias de Se (mg kg<sup>-1</sup> de forragem). Entretanto, esses mesmos autores não observaram influência nas concentrações de Se nas doses que continham K, apenas nas aplicações de N e P.

O acúmulo de Se foi significativo nas doses mais elevadas de Se, tanto na parte aérea quanto nas raízes. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Gouveia (2020), que estudou doses de selenato em diferentes espécies de arroz. Em seu estudo, ele observou que a aplicação de Se aumentou drasticamente o acúmulo de Se na parte aérea e nas raízes das plantas de arroz. Quanto às doses de K neste trabalho, não foi observada influência no acúmulo de Se na parte aérea e nas raízes.

### 5.1.2.3. Teor e acúmulo de potássio

Na parte aérea das plantas de Capim andropógon não foram observadas diferenças significantes entre as doses de Se aplicadas e os teores de K para o primeiro e terceiro cortes (TABELA 18). Contudo, no segundo corte nas menores doses de Se (0 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup>), houve um aumento no teor de K, apresentando médias de 21,31 g Kg<sup>-1</sup> e 21,79 g Kg<sup>-1</sup>, obtendo um incremento, em relação a dose de menor média (1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se), de 14,02% e 16,59%, respectivamente (TABELA 18). Para as doses de K não foi observada influência significativa nos teores de K, nos três cortes (TABELA 19).

**Tabela 18** - Teor de potássio na parte aérea do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Teor de K da parte aérea (mg Kg <sup>-1</sup> )			
Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
0	21,70 a	21,31 a	16,02 a
0,25	24,44 a	21,79 a	17,06 a
0,75	23,61 a	20,76 b	17,17 a
1,5	23,66 a	18,69 b	15,86 a

**Tabela 19** - Teor de potássio na parte aérea do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Teor de K da parte aérea (mg Kg <sup>-1</sup> )			
Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte

<b>120</b>	22,79 a	20,43 a	16,45 a
<b>150</b>	23,72 a	20,79 a	17,14 a
<b>180</b>	23,55 a	20,62 a	15,99 a

Os teores de K na raiz não foram influenciados pela adubação das doses de Se e K (TABELA 20).

**Tabela 20** - Teor de potássio na raiz do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de Se ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	Teor de K na raiz ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
0	10,23 a
0,25	8,94 a
0,75	8,90 a
1,5	9,75 a
Doses de K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	Teor de K da raiz ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
120	8,84 a
150	9,38 a
180	10,15 a

Não houve interação entre o Se e o K no acúmulo de K do Capim. O Se não influenciou o acúmulo de K nos três cortes (TABELA 21). Por outro lado, as doses de K foram significativas para o acúmulo de K no segundo corte. Obtendo um valor médio de  $0,13 \text{ g vaso}^{-1}$  na maior dose ( $180 \text{ mg dm}^{-3}$  de K) apresentando um incremento de 44% em relação a dose de menor média ( $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de K) (TABELA 22). No primeiro e terceiro corte não foi observada essa influência para as doses de K (TABELA 22).

**Tabela 21** - Acúmulo de potássio na parte aérea do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de Se	Acúmulo de K da parte aérea ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )		
	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte

(mg dm <sup>-3</sup> )			
0	0,13 a	0,11 a	0,008 a
0,25	0,14 a	0,12 a	0,009 a
0,75	0,14 a	0,11 a	0,008 a
1,5	0,12 a	0,09 a	0,008 a

**Tabela 22** - Acúmulo de potássio na parte aérea do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Acúmulo de K da parte aérea (mg Kg <sup>-1</sup> )			
Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	Primeiro corte	Segundo corte	Terceiro corte
120	0,12 a	0,09 b	0,08 a
150	0,13 a	0,11 ab	0,09 a
180	0,14 a	0,13 a	0,08 a

Para o acúmulo de K na raiz do Capim houve interação significativa entre as doses de Se e K. A menor dose de Se (0 mg dm<sup>-3</sup>) apresentou a maior média de 0,11 g vaso<sup>-1</sup> com um incremento de 57% em relação a dose de menor média (1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se) (TABELA 23). Para as doses de K foi observado uma relação linear da menor dose (120 mg dm<sup>-3</sup> de K) para a maior (180 mg dm<sup>-3</sup> de K), onde apresentou valor de 0,11 g vaso<sup>-1</sup> com incremento de 37% em relação a dose de menor média (TABELA 23).

**Tabela 23** - Acúmulo de potássio na raiz do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	Acúmulo de K na raiz (mg Kg <sup>-1</sup> )
0	0,11 a
0,25	0,09 ab
0,75	0,09 ab
1,5	0,07 b

Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	Acúmulo de K da raiz (mg Kg <sup>-1</sup> )
120	0,08 b
150	0,08 b
180	0,11 a

Não foi observada interação entre o Se e o K nos teores de K no Capim. Tanto o Se quanto o K não influenciaram os teores de K na planta. Resultados como esses são incomuns em estudos, uma vez que o K geralmente está associado ao desenvolvimento das plantas e ao

aumento da concentração desse elemento nas mesmas. No entanto, essa resposta peculiar pode ser explicada pela baixa produção de massa seca do Capim, onde a planta não precisou aumentar a captação de K para a parte aérea, mantendo uma concentração estável mesmo com doses mais elevadas de K.

No que diz respeito à parte aérea do Capim, não houve significância em relação às doses de Se, mas houve influência do acúmulo nas raízes. Infelizmente, não foi encontrado material suficiente na literatura para uma discussão mais profunda sobre esse resultado. Quanto aos acúmulos de K, houve respostas nas maiores doses de K no segundo corte, tanto para a parte aérea quanto para as raízes. Resultados semelhantes foram encontrados por Campos (2015), que, ao estudar doses crescentes de K em plantas de sorgo, observou um maior acúmulo nas doses mais elevadas tanto na parte aérea quanto nas raízes.

#### 5.1.2.4. Índices de eficiência

A eficiência de absorção (Ea) de Se no Capim, foi significativamente influenciada pela dose de Se aplicada (TABELA 24). A maior eficiência foi demonstrada na dose mais alta de Se (1,5 mg dm<sup>-3</sup>), apresentando valor médio de 0,134 mg g<sup>-1</sup> com incremento de 13,30% em relação ao controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se). Por outro lado, a Ea do Se não respondeu significativamente a aplicação das doses de K (TABELA 24). A eficiência de absorção do K não respondeu de forma diferenciada ao fornecimento das diferentes doses de Se e K (TABELA 25).

**Tabela 24** - Eficiência de absorção (Ea) de selênio do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Doses de Se (mg dm <sup>-3</sup> )	EA do Se
0	0,001 c
0,25	0,018 c
0,75	0,061 b
1,5	0,134 a
Doses de K (mg dm <sup>-3</sup> )	EA do Se
120	0,046 a
150	0,066 a
180	0,050 a

**Tabela 25** - Eficiência de absorção (Ea) do potássio do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de Se ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	EA do K
0	0,020 a
0,25	0,023 a
0,75	0,023 a
1,5	0,025 a
Doses de K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	EA do K
120	0,021 a
150	0,025 a
180	0,022 a

A eficiência de utilização (Eu) do Se foi afetada diretamente pela dose de Se aplicada, apresentando maior resposta na dose controle ( $0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se). A média obtida no controle foi de  $22460,03 \text{ g mg}^{-1}$ , mostrando um incremento de 110 vezes maior quando comparada a dose de menor média ( $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se) (TABELA 26).

Por outro lado, a Eu do Se não respondeu ao fornecimento das doses de K (TABELA 26). A Eu do K não obteve resposta significativa para a aplicação de K, como também para a aplicação de Se (TABELA 27).

**Tabela 26** - Eficiência de utilização (Eu) de selênio do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de Se ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	EU do Se
0	22460,03 a
0,25	1363,78 b
0,75	442,57 b
1,5	201,58 b
Doses de K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	EU do Se
120	4888,89 a
150	5660,41 a
180	7801,66 a

**Tabela 27** - Eficiência de utilização (Eu) de potássio do Capim (*Andropogon gayanus*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Doses de Se ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	EU do K
0	1230,15 a
0,25	1098,79 a
0,75	1091,89 a
1,5	906,30 a
Doses de K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	EU do K
120	1081,68 a
150	974,66 a
180	1189,00 a

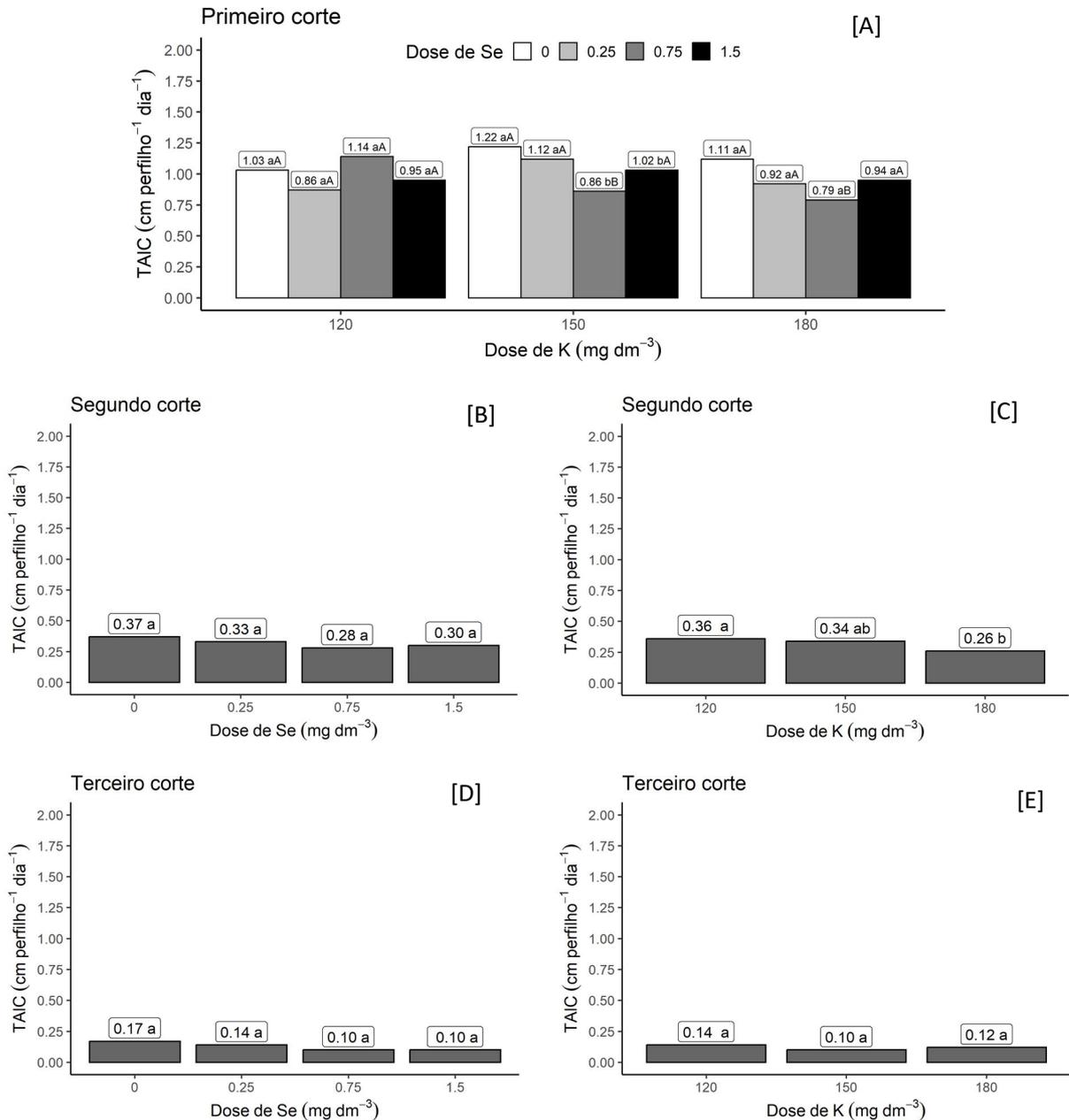
## 5.2. *Brachiaria ruziziensis*

### 5.2.1. Morfogênese

O primeiro corte da brachiaria apresentou interação significativa entre o Se e o K para a TAIC. A dose mais baixa de K ( $120 \text{ mg dm}^{-3}$ ) não apresentou influência nas médias da TAIC em relação as doses de Se aplicadas. Contudo, a dose  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de K apresentou interação com as doses mais baixas de Se ( $0$  e  $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$ ), onde foram observados valores médios de  $1,22$  e  $1,12 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  com incremento de  $41,86\%$  e  $30,23\%$  respectivamente, em relação a dose de menor média ( $0,75 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se). A dose  $180 \text{ mg dm}^{-3}$  de K interagiu com as doses  $0$ ,  $0,25$  e  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se, obtendo médias de  $1,11$ ,  $0,92$  e  $0,94 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , apresentando incremento em relação a dose de menor média ( $0,75 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se) de  $42,31\%$ ,  $17,95\%$  e  $20,51\%$ , respectivamente (Figura 1A).

No segundo e terceiro cortes não houve influência significativa das doses de Se aplicadas para a TAIC (Figura 1B, 1D). Como também para as doses de K aplicadas no terceiro corte (Figura 1E). Por outro lado, houve uma leve influência das doses de K aplicadas no segundo corte, onde a dose  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de K apresentou melhor média de  $0,36 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , com incremento de  $38,46\%$  em relação a dose de menor média ( $180 \text{ mg dm}^{-3}$  de K) (Figura 1C).

**Figura 1** - Taxa de alongamento de caule (TAIC) da brachiaria (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

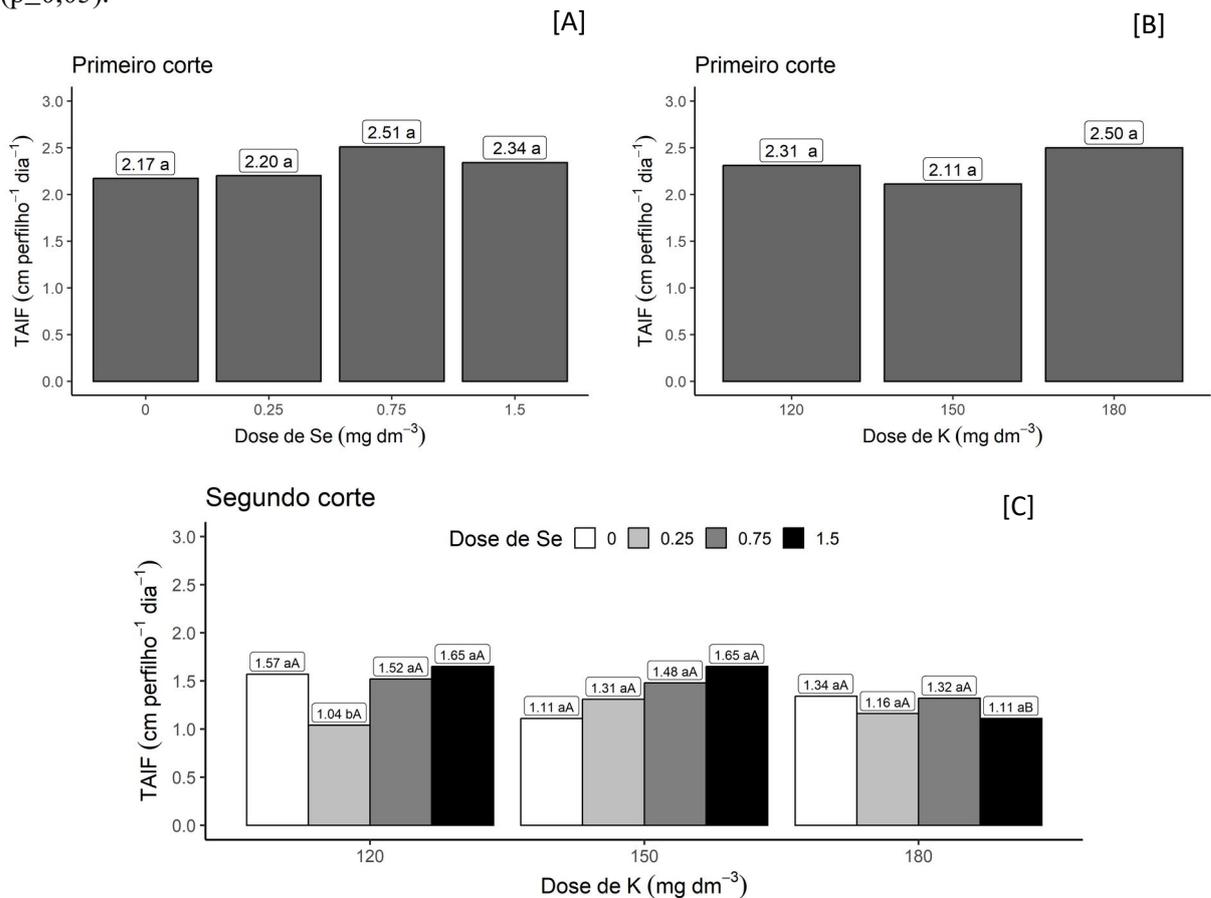


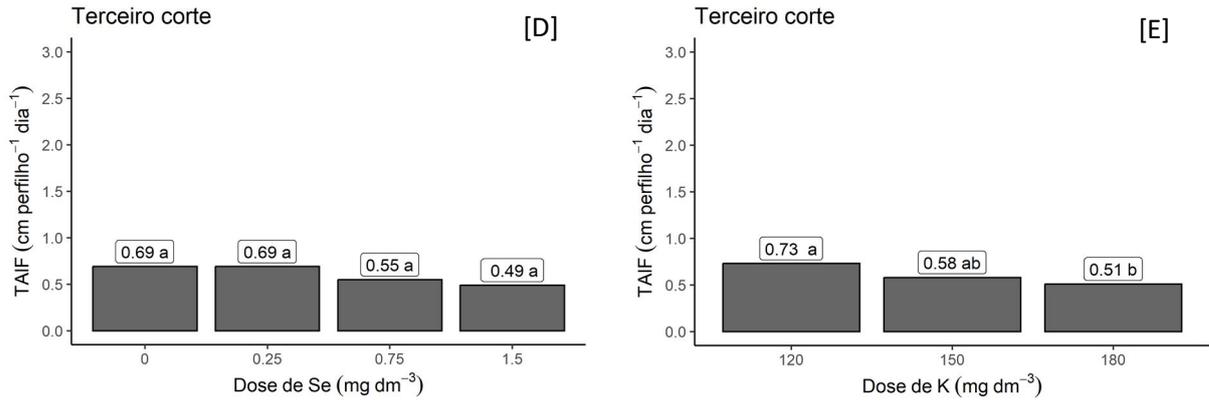
Em relação a TAIF da brachiaria, no primeiro corte não houve influência significativa do fornecimento de Se e K, onde ambos apresentaram médias bem aproximadas em relação as diferentes doses (Figura 2A, 2B). Entretanto, no segundo corte houve interação significativa para a TAIF, a qual foi influenciada pela interação da dose  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de K com as doses 0, 0,75 e  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se, apresentando valores médios de 1,57, 1,52 e  $1,65 \text{ cm perfilho}^{-1} \text{ dia}^{-1}$

com incrementos de 50,96, 46,15 e 58,65% respectivamente em relação a dose de menor média (0,25 mg dm<sup>-3</sup>).

A interação da dose 150 mg dm<sup>-3</sup> de K com as doses de Se não influenciou na TAIIF de forma significativa. Por outro lado, houve interação entre a dose 180 mg dm<sup>-3</sup> de K com as aplicações de Se de 0, 0,25 e 075 mg dm<sup>-3</sup>, apresentando médias de 1,34, 1,16 e 1,32 cm perfilho<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> com incrementos em relação a dose de menor média (1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se) de 20,72, 4,50 e 18,92% respectivamente (Figura 2C). No terceiro corte não houve influência significativa das doses de Se aplicadas (Figura 2D). Contudo houve influência na aplicação do K, onde a dose 120 mg dm<sup>-3</sup> manteve a maior média de 0,73 cm perfilho<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e um incremento de 43,14% em relação a dose de menor média (180 mg dm<sup>-3</sup>) (Figura 2E).

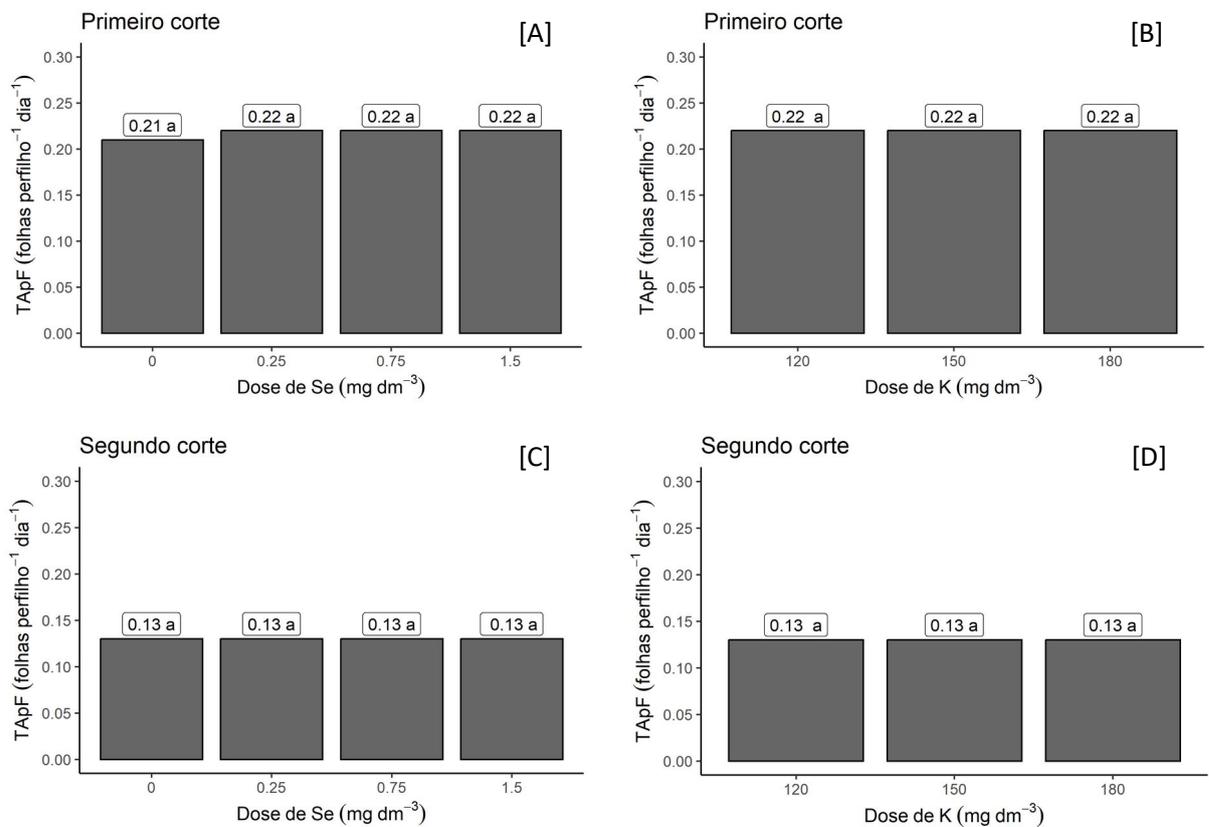
**Figura 2** - Taxa de alongamento foliar (TAIF) da brachiaria (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

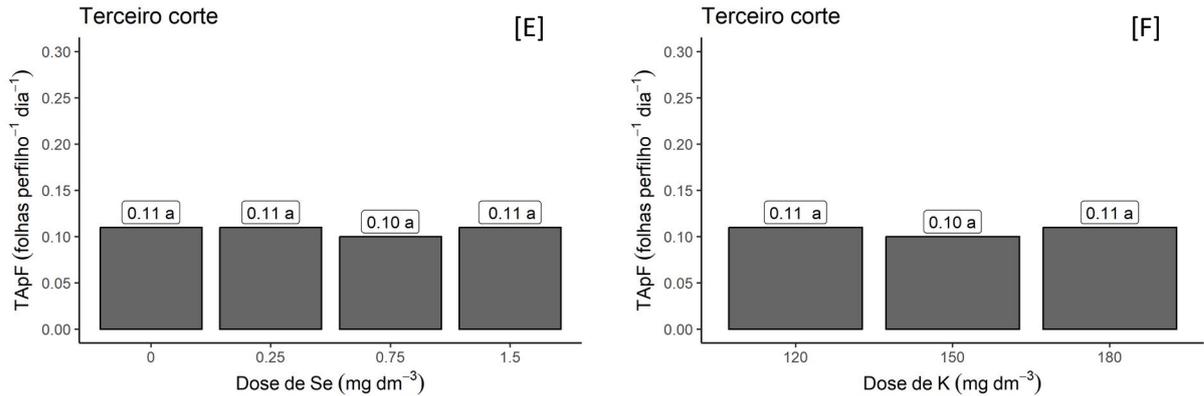




A TApF da *Brachiaria* não respondeu de forma significativa em nenhum dos três cortes as adubações com diferentes doses de Se e K, apresentando médias muito aproximadas entre si. (Figura 3).

**Figura 3** - Taxa de aparecimento foliar (TApF) da *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



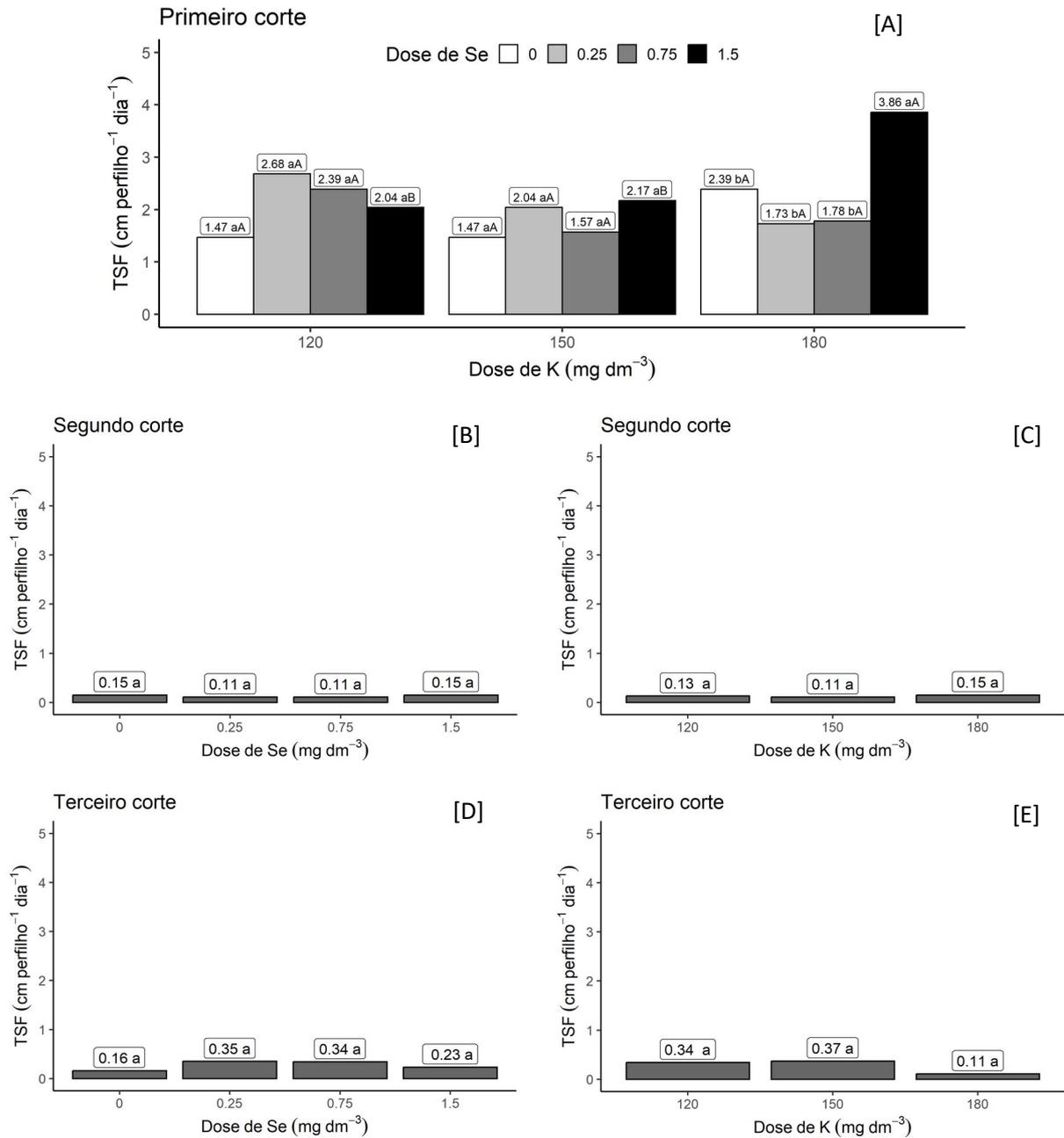


Com a TSF da *Brachiaria* houve interação significativa no primeiro corte com as aplicações de Se e K (Figura 4A) onde a dose 120 mg dm<sup>-3</sup> de K afetou significativamente as doses 0, 0,25 e 0,75 mg dm<sup>-3</sup> de Se. Porém, observou-se que nessa interação a dose 0,25 mg dm<sup>-3</sup> de Se apresentou maior TSF com valor médio de 2,68 cm perfilho<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> com um incremento de 82,31% em relação a dose de menor média (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se).

A dose de 150 mg dm<sup>-3</sup> de K seguiu a mesma interação da dose anterior, apresentando interação com a dose 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se como a que obteve maior TSF, com uma média de 2,17 cm perfilho<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, mostrando um incremento de 47,62% em relação a dose de menor média (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se). Dando sequência, a dose de 180 mg dm<sup>-3</sup> de K interagiu de maneira significativa com a dose 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se, que apresentou uma média de TSF de 3,86 cm perfilho<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, obtendo um incremento de 123,12% em relação a dose de menor média.

Por outro lado, não houve respostas significativas no segundo e terceiro cortes para a TSF em relação a aplicação das diferentes doses de Se e K (Figura 4B, 4C, 4D, 4E).

**Figura 4** - Taxa de senescência foliar (TSF) da *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



No presente trabalho, foram observadas interações significativas entre as doses de Se e K nas taxas de alongamento de colmo (TAIC), alongamento foliar (TAIF) e senescência foliar (TSF) da *Brachiaria*. Em todas essas interações, foi observada uma ação sinérgica entre o Se e o K, com as doses de K aumentando as respostas das taxas estudadas nas doses de Se.

Curiosamente, a literatura não oferece referências que expliquem essa interação, especialmente no que se refere à ação do Se nas respostas morfogênicas, o que limita a discussão dessa variável. No entanto, observaram-se respostas significativas para a ação do K nas taxas morfogênicas. De acordo com Costa *et al.* (2019), a adubação potássica tem um impacto positivo na produção de forragem, na taxa absoluta de crescimento, nas concentrações de K e nas características morfogênicas e estruturais de gramíneas. O mesmo

autor constatou que doses de K aplicadas em plantas de *Axonopus aureus* tiveram um efeito positivo direto nas taxas morfogênicas das plantas.

Quadros *et al.* (2005), estudando a morfogênese de plantas de *Lolium multiflorum* Lam. (Azevém) e *Paspalum urvillei* Steud (Capim das roças) sob níveis de adubação de K, observou que os níveis de K avaliados influenciaram as taxas de alongamento e aparecimento de folhas nas gramíneas estudadas.

Em outro estudo realizado por Soares (2019), utilizando doses de 0, 30, 60, 90 e 120 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, foi confirmado que a adubação potássica influenciou na morfogênese da forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, aumentando a duração de vida das folhas e o filocrono, com a dose de 120 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O sendo recomendada para maiores índices. No entanto, para a taxa de aparecimento foliar, houve um decréscimo inversamente proporcional.

Por outro lado, Santos *et al.* (2009) constatou que as características morfogênicas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk não foram influenciadas positivamente pela adubação com K no estabelecimento. Tanto a ausência de influência da adubação de K quanto a significância desse nutriente para as taxas morfogênicas podem ser observadas neste trabalho.

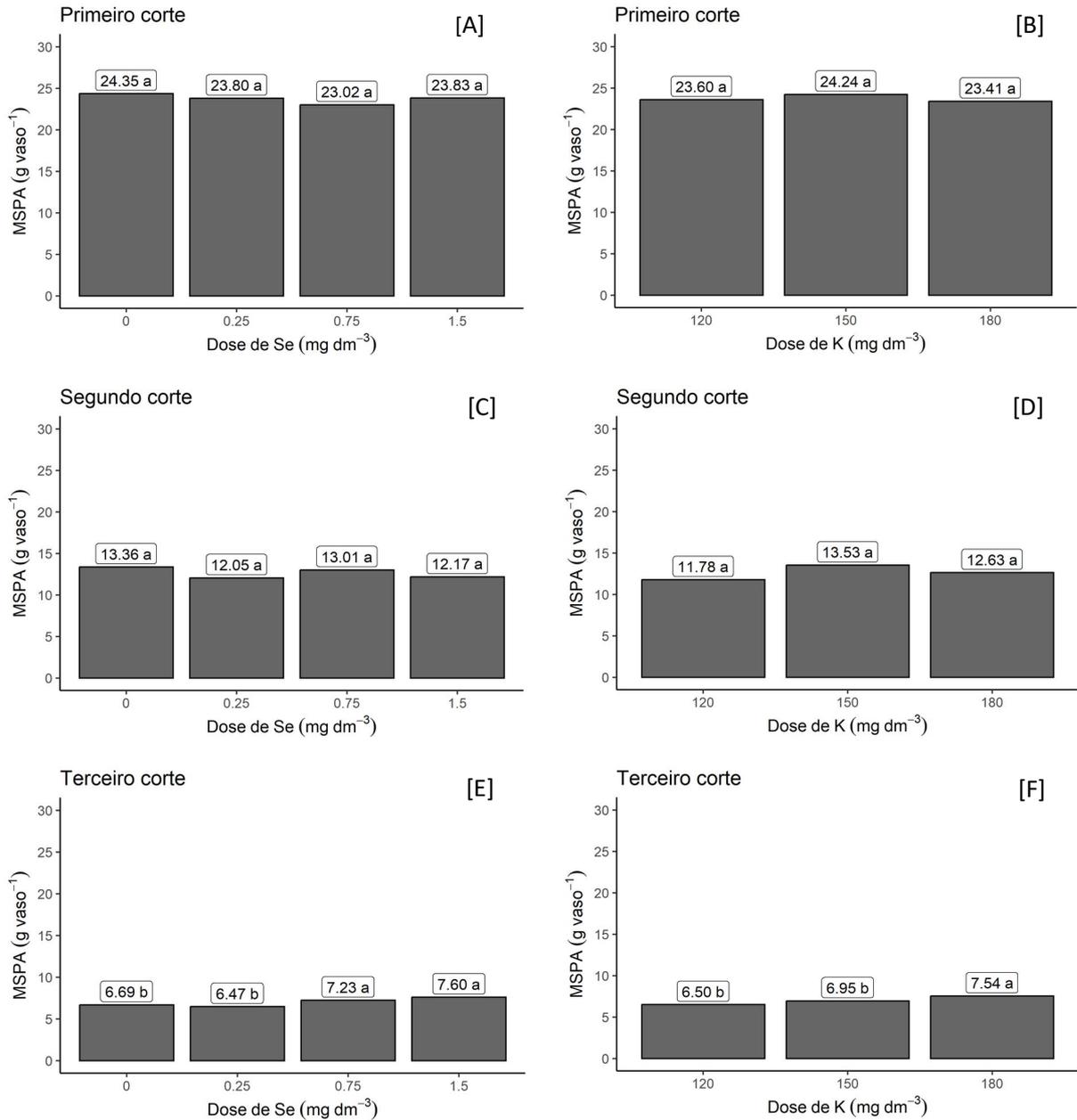
## 5.2.2. Nutricionais

### 5.2.2.1. Matéria seca

Em relação a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) da *Brachiaria*, nos dois primeiros cortes não houve influência do fornecimento de Se e K, onde ambos apresentaram médias bem aproximadas em relação as diferentes doses (Figura 5A, 5B, 5C e 5D).

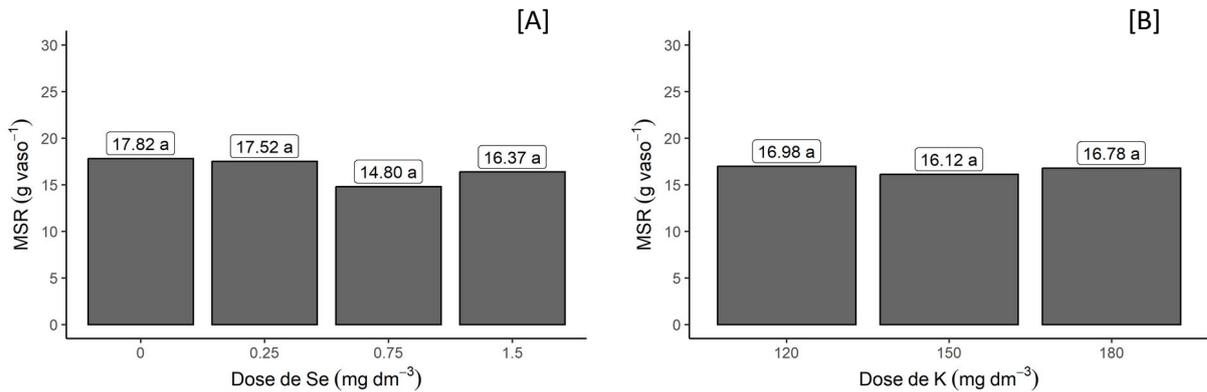
Já no terceiro corte houve efeito significativo entre as doses mais altas de Se e a dose mais alta de K em relação a produção de MS. As doses 1,5 mg dm<sup>-3</sup> e 0,75 mg dm<sup>-3</sup> de Se foram as que apresentaram maior resposta produtiva, com médias de 7,60 g vaso<sup>-1</sup> e 7,23 g vaso<sup>-1</sup> respectivamente. Levando em consideração as doses de maior média em relação ao controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se) obteve incrementos de 13,60% e 11,75% (Figura 5E). Para o K a dose 180 mg dm<sup>-3</sup> foi a que mostrou maior resposta produtiva com média de 7,54 g vaso<sup>-1</sup>, obtendo um incremento de 16% em relação a dose de menor média (120 mg dm<sup>-3</sup>) (Figura 5F).

**Figura 5** - Massa seca da parte aérea (MSPA) na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



A análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) não demonstrou interação significativa entre o Se e o K na produção de matéria seca pelas raízes (MSR) da *Brachiaria*, apresentando valores médios bem próximos entre si (Figura 6A, 6B).

**Figura 6** - Massa seca da raiz (MSR) na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



Para a MSPA e MSR, não houve interação significativa entre os níveis de Se e K e esses fatores foram discutidos separadamente. Observou-se que, de acordo com as doses de Se aplicadas, as respostas foram diversas em relação ao crescimento das raízes e da parte aérea. A *Brachiaria* apresentou uma boa produção de MS, no entanto, foram observadas quedas significativas na produção a cada corte.

Esses resultados estão de acordo com um estudo de Faria (2018), que também não encontrou efeitos significativos ou interações entre as doses de Se e os cortes para a produção de MS e raízes na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. No entanto, no terceiro corte, contradizendo os resultados anteriores, foi observada uma significância, onde a maior produção de MSPA ocorreu nas maiores doses de Se. Como esse efeito ocorreu no último corte, não permitiu uma observação de continuidade. Não foi encontrada resposta na literatura consultada para explicar esse resultado, uma vez que a maioria dos estudos aponta para os efeitos positivos do Se na produção de várias culturas quando fornecido em baixas concentrações (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020; REIS *et al.*, 2020).

Por outro lado, é importante ressaltar que o presente estudo foi conduzido em condições de casa de vegetação, e é provável que o ambiente controlado tenha influenciado na resposta da planta às adubações de Se nesse corte residual. Além disso, o Se atua reduzindo o estresse oxidativo e conferindo tolerância contra diferentes estresses abióticos. Os papéis do Se estão inter-relacionados e contribuem para o crescimento e desenvolvimento geral da planta sob estresse e condições não estressadas (GUPTA E GUPTA, 2017). Nessa situação específica, a planta de *Brachiaria* pode ter utilizado as concentrações de Se para manter um crescimento adequado e sobreviver, especialmente após vários cortes.

Em um estudo de Costa (2007), os rendimentos de MS da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés foram significativamente incrementados pela adubação potássica, com os maiores valores obtidos com a aplicação de 60 mg dm<sup>-3</sup> (6,55 g vaso<sup>-1</sup>) e 45 mg dm<sup>-3</sup> de K (6,11 g vaso<sup>-1</sup>).

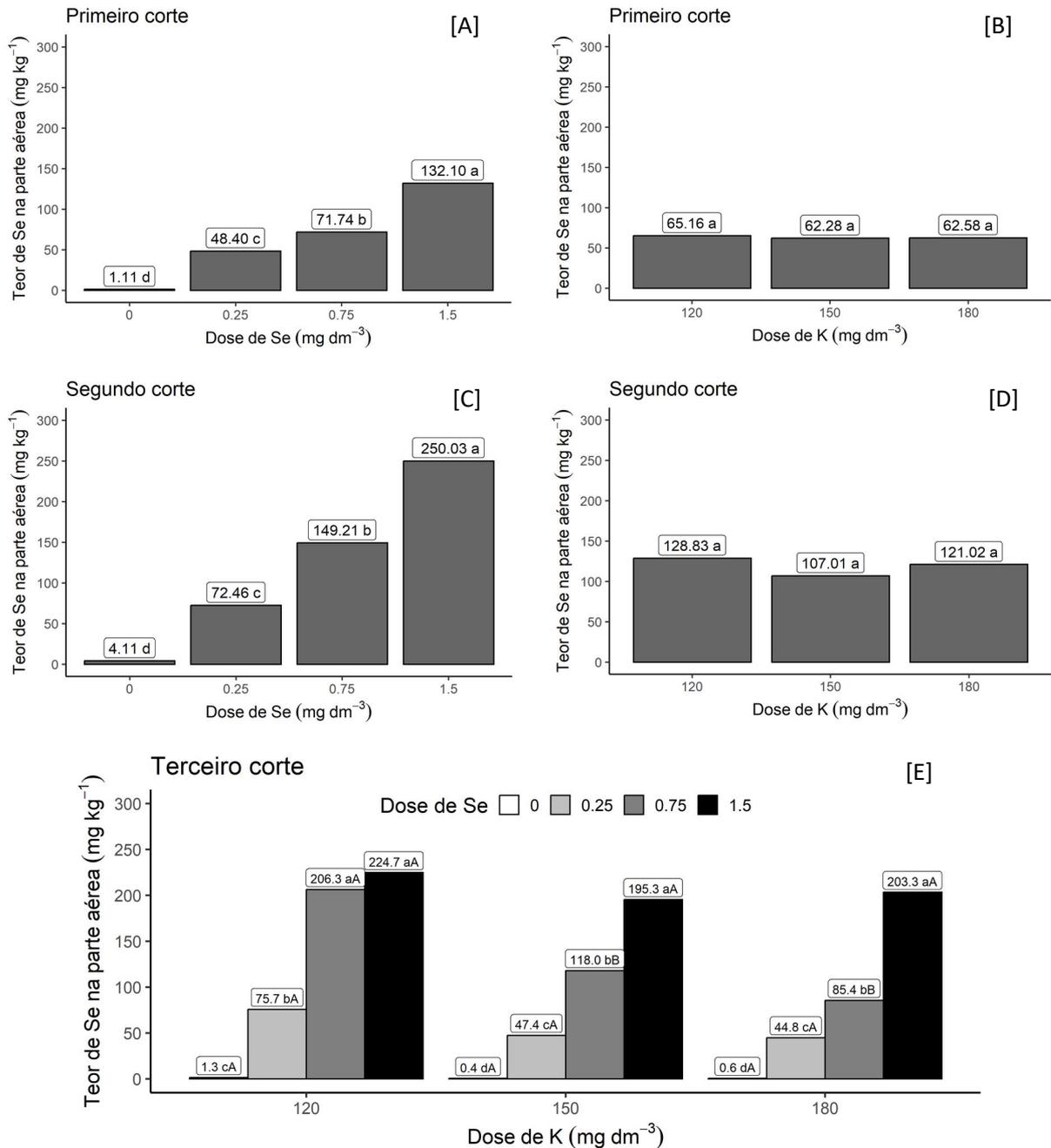
<sup>1</sup>), usando uma dose controle sem aplicação de K. O mesmo foi observado por Souza (2007), que obteve um aumento linear na produção de MS com a adubação potássica em plantas de Capim Tanzânia. Esses resultados concordam com a resposta no corte residual deste trabalho. No entanto, eles não são consistentes com o que foi observado nos dois primeiros cortes, que não foram influenciados pelas doses de K aplicadas para a produção de MSPA e MSR. Rabêlo (2013) não encontrou respostas entre a adubação potássica e a porcentagem de matéria seca em plantas de milho.

#### 5.2.2.2. Teor e acúmulo de selênio

Os teores de Se na parte aérea da *Brachiaria* no primeiro e segundo cortes foram significativamente influenciados pela dose de Se aplicada, obtendo uma variação bem acentuada da relação dose mais alta (1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se) para a mais baixa (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se) (Figura 7A, 7C). No primeiro corte observa-se uma média na dose mais alta de 132,10 mg Kg<sup>-1</sup>, sinalizando um incremento de 18 vezes maior quando comparado a dose controle. Já no segundo corte a dose mais alta mostrou uma média de 250,03 mg Kg<sup>-1</sup>, apontando um incremento de 59 vezes maior em relação controle. Os teores de Se na parte aérea não foram afetados pelas doses de K no primeiro e segundo cortes (Figura 7B, 7D).

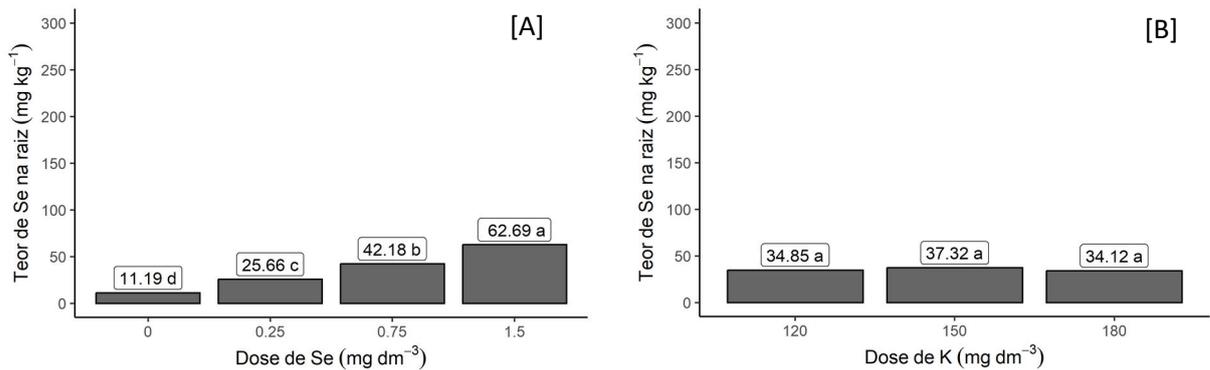
No terceiro corte houve interação significativa entre as doses de Se e K influenciando os teores de Se da parte aérea (Figura 7E). Foi observado que para a dose 120 mg dm<sup>-3</sup> de K houve uma interação maior com as doses 1,5 mg dm<sup>-3</sup> e 0,75 mg dm<sup>-3</sup> de Se, apresentando médias de 224,7 mg Kg<sup>-1</sup> e 206,3 mg Kg<sup>-1</sup> respectivamente, com incrementos seguindo a mesma ordem de 171 e 157 vezes maior em relação ao controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se). As doses 150 mg dm<sup>-3</sup> e 180 mg dm<sup>-3</sup> de K, apresentaram interação com a dose 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se, sendo obtidos valores médios de 195,3 mg Kg<sup>-1</sup> e 203,3 mg Kg<sup>-1</sup>, com incrementos de 487 e 337 vezes maior em relação ao controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se), respectivamente.

**Figura 7** - Teor de selênio da parte aérea na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



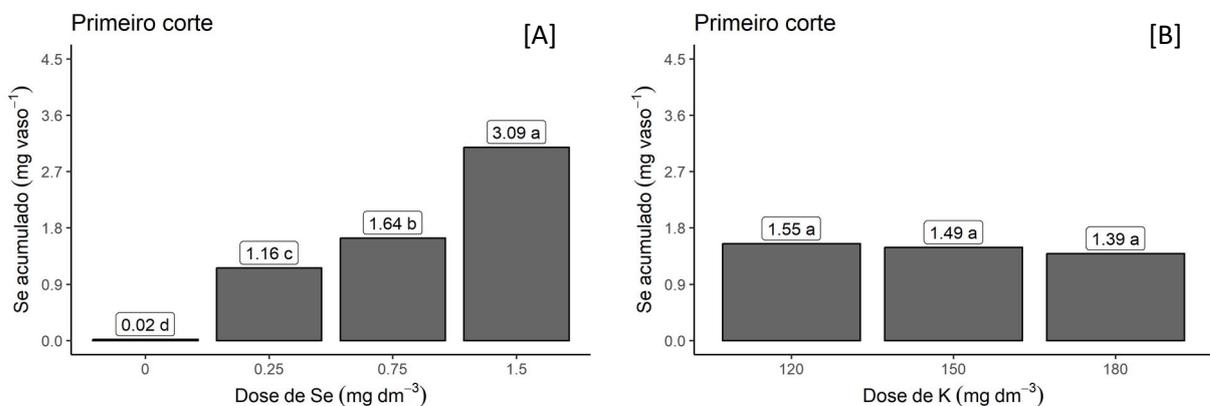
Os teores de Se na raiz da *Brachiaria* foram afetados significativamente pelo fornecimento de Se. O maior teor de Se na raiz ( $62,69 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), foi obtido com o fornecimento de  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se, representando incremento de  $460,23\%$  em relação ao controle ( $0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se) (Figura 8A). Por outro lado, os teores de Se não responderam de forma diferenciada à aplicação de K (Figura 8B).

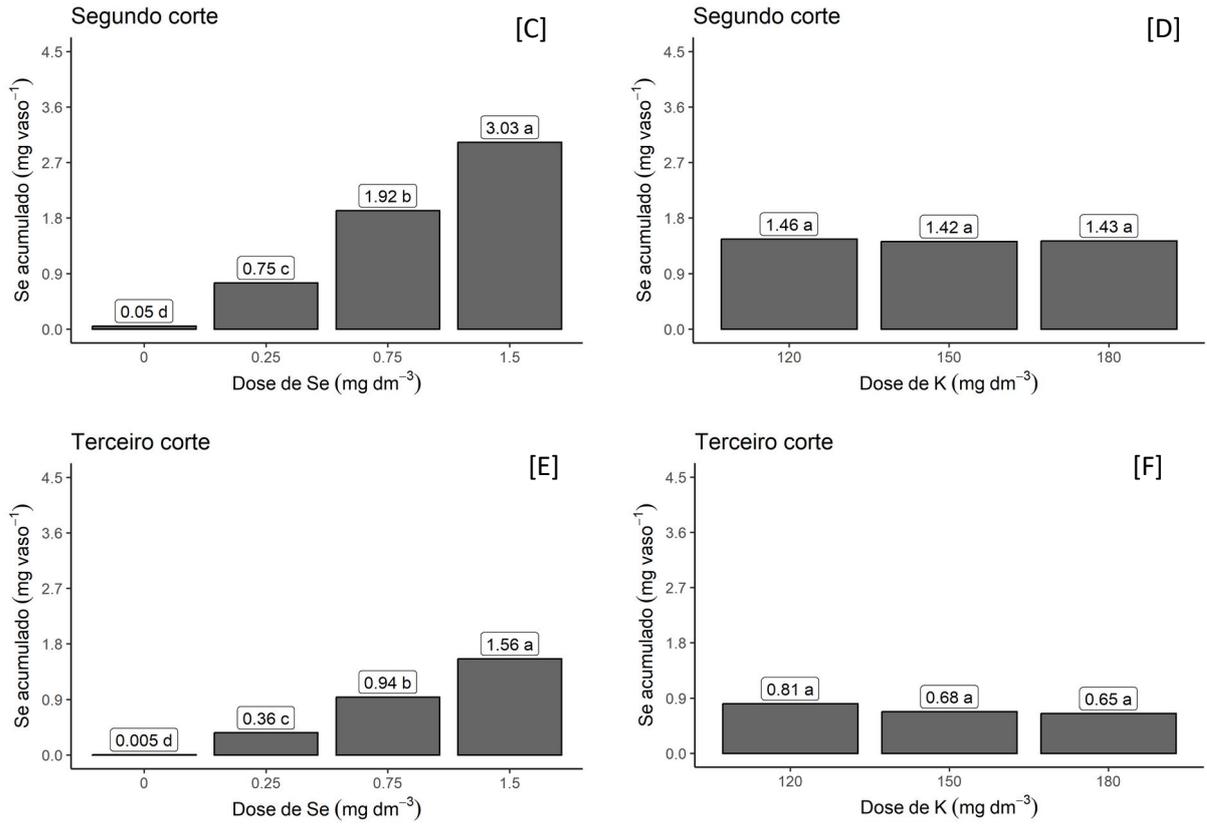
**Figura 8** - Teor de selênio da raiz na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



O acúmulo de Se na parte aérea da *Brachiaria* nos três cortes foi significativamente influenciado pela dose de Se aplicada, obtendo uma variação bem acentuada da relação dose mais alta (1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se) para a mais baixa (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se) (Figura 9A, 9C, 9E). No primeiro corte observa-se uma média na dose mais alta de 3,09 mg vaso<sup>-1</sup>, sinalizando um incremento 153 vezes maior quando comparado a dose controle. Já no segundo corte a dose mais alta mostrou uma média de 3,03 mg vaso<sup>-1</sup>, apontando um incremento de 59 vezes maior em relação controle. No terceiro corte foi observado uma média na dose mais alta de 1,56 mg vaso<sup>-1</sup>, sinalizando um incremento de 311 vezes maior quando comparado a dose controle. O acúmulo de Se na parte aérea não foi afetado pelas doses de K nos três cortes (Figura 9B, 9D, 9F).

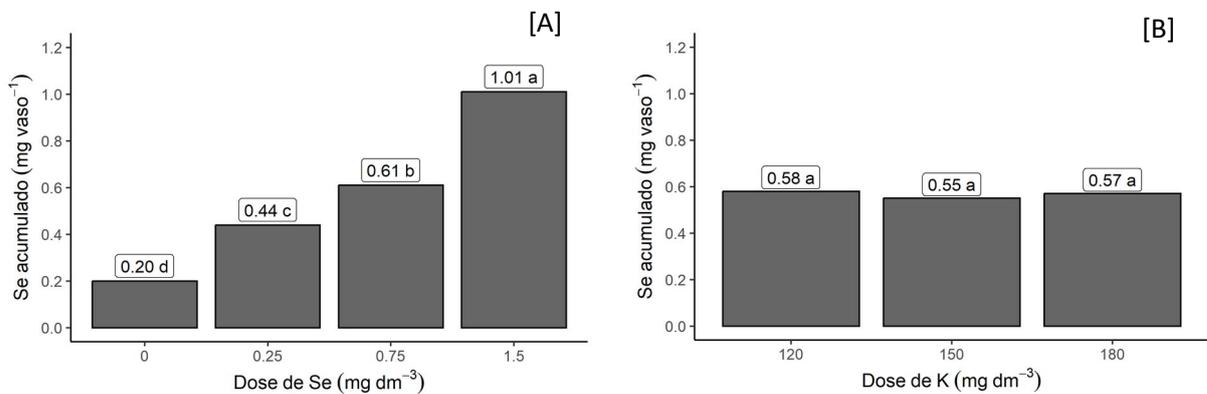
**Figura 9** - Acúmulo de selênio da parte aérea na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).





O acúmulo de Se na raiz da *Brachiaria* foi afetado significativamente pelo fornecimento de Se. O maior acúmulo de Se na raiz (1,01 mg vaso<sup>-1</sup>), foi obtido com o fornecimento de 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se, representando incremento de 405% em relação ao controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se) (Figura 10A). Por outro lado, os teores de Se não responderam de forma diferenciada à aplicação de K (Figura 10B).

**Figura 10** - Acúmulo de selênio da raiz na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



Foi observada interação significativa entre as doses de Se e K aplicadas no corte residual. É importante destacar que essa interação não tem sido objeto de estudos recentes, tornando este trabalho um dos pioneiros nesse sentido. Como resultado, não foram encontradas referências na literatura para discussão mais aprofundada. No entanto, os resultados apontam para uma forte correlação entre as doses de K e Se, sugerindo um efeito sinérgico entre esses elementos, particularmente em doses mais elevadas de Se em relação às doses de K. O sinergismo ocorre quando um íon aumenta a absorção de outro íon, proporcionando benefícios no desenvolvimento da planta (SILVA, 2015).

Foi observado um aumento nos teores e acúmulos de Se a cada corte na *Brachiaria* com as doses aplicadas. Esse fenômeno pode ser explicado pela influência da adubação fracionada de Se que precedeu cada corte, o que resultou em um maior acúmulo do nutriente no solo, com subsequente absorção pelas plantas.

Os teores e acúmulos de Se na parte aérea e nas raízes foram significativamente influenciados pelo aumento das doses de Se. Tipicamente, durante o crescimento das mudas, a concentração de Se é mais elevada nas folhas mais jovens em comparação com as mais antigas, como indicado por CAPPA *et al.* (2014) e HARRIS *et al.* (2014). De acordo com Malavolta (1980), as espécies de plantas variam em sua capacidade de absorver Se. As gramíneas forrageiras são classificadas como acumuladoras, o que explica o aumento dos teores de Se nas plantas quando submetidas a doses mais elevadas de Se, sem que ocorra toxicidade.

Um estudo realizado por Ramos (2012) destacou que em condições de solo tropical, a aplicação de selenato é adequada para aumentar os teores e acúmulos de Se na *Brachiaria brizantha*. Em doses mais elevadas, a aplicação de selenato demonstrou uma maior translocação de Se para a parte aérea da planta, resultando em maiores teores de Se nessa parte. Essa influência foi corroborada por Faria (2018), que observou uma interação entre as doses de Se e os cortes realizados para enriquecer a biomassa de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. O estudo de Faria (2018) revelou que as doses de Se na adubação promoveram um aumento sequencial no acúmulo de Se na biomassa da parte aérea e nas raízes.

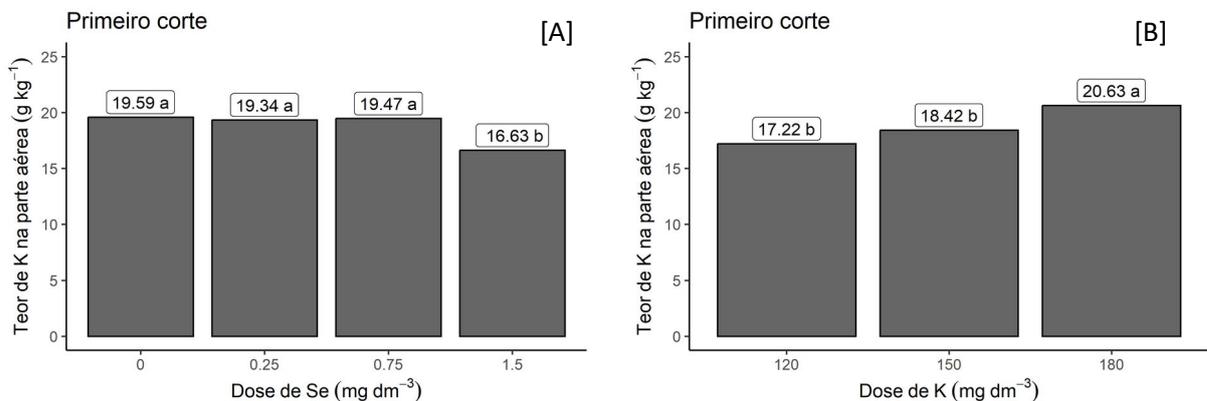
Por outro lado, as doses de K não tiveram influência nos teores e acúmulos de Se na parte aérea e nas raízes, com exceção do terceiro corte da *Brachiaria*, no qual houve interação em relação aos teores. No entanto, observou-se um aumento nos teores e acúmulos de Se a cada corte em relação às doses de K nas plantas de *Brachiaria*.

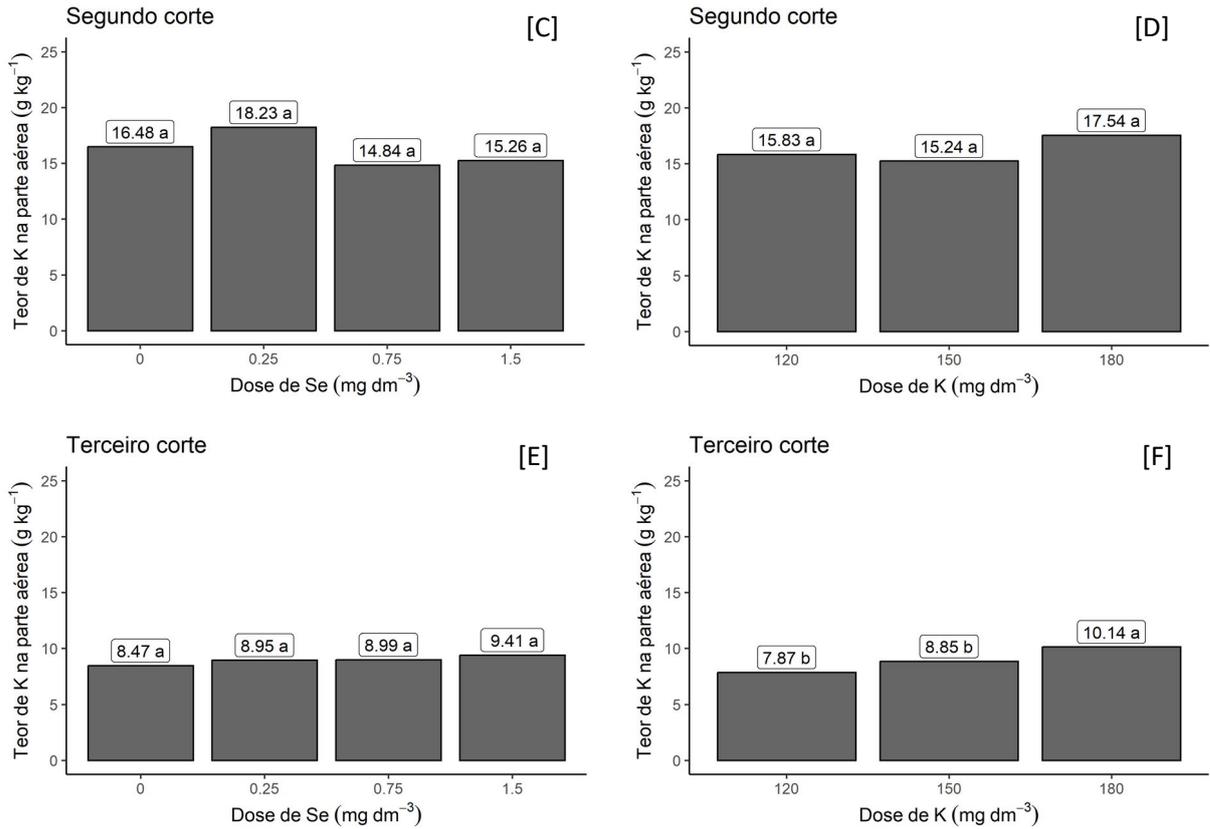
### 5.2.2.3. Teor e acúmulo de potássio

Os teores de K na parte aérea das plantas de *Brachiaria* foram afetados pelo fornecimento de Se e K no primeiro corte (Figura 11A, 11B). Os maiores teores de K 19,59 g Kg<sup>-1</sup>, 19,47 g Kg<sup>-1</sup> e 19,34 g Kg<sup>-1</sup> foram obtidos com o fornecimento de 0, 0,75 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup> de Se, representando um incremento de 17,80%, 17,08% e 16,30% em relação a dose de menor média (1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se), respectivamente. Já o maior teor de K foi obtido com a aplicação da dose 180 mg dm<sup>-3</sup> de K, apresentando média de 20,63 g Kg<sup>-1</sup> e um incremento de 19,80% em relação a dose de menor média (120 mg dm<sup>-3</sup>). Por outro lado, os teores de K no segundo corte não responderam de forma diferenciada à aplicação de Se e K (Figura 11C, 11D).

No terceiro corte não houve resposta significativa das aplicações de Se nos teores de K (Figura 11E). Ao passo que houve significância dos teores de K em relação as doses de K aplicadas (Figura 11F). Apresentando média de 10,14 g Kg<sup>-1</sup> na dose 180 mg dm<sup>-3</sup> de k, com um incremento de 28,84% quando comparada a dose de menor média (120 mg dm<sup>-3</sup> de K).

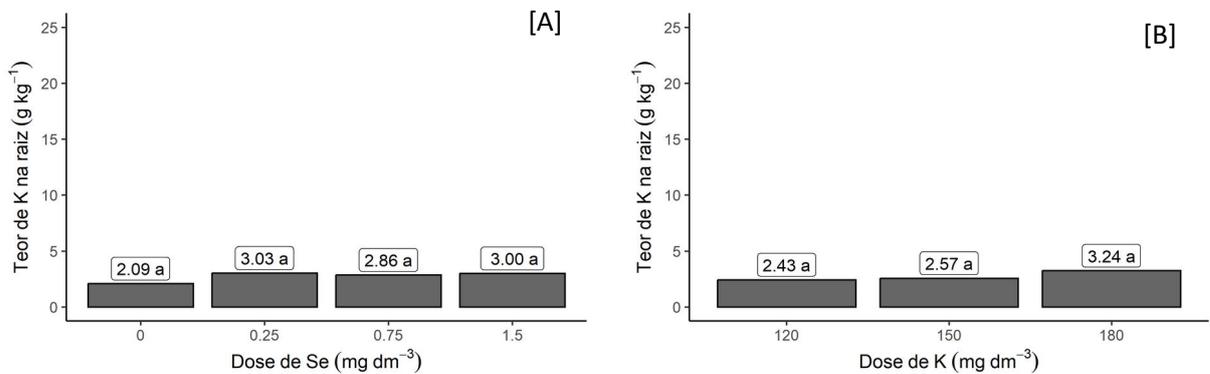
**Figura 11** - Teor de potássio da parte aérea na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).





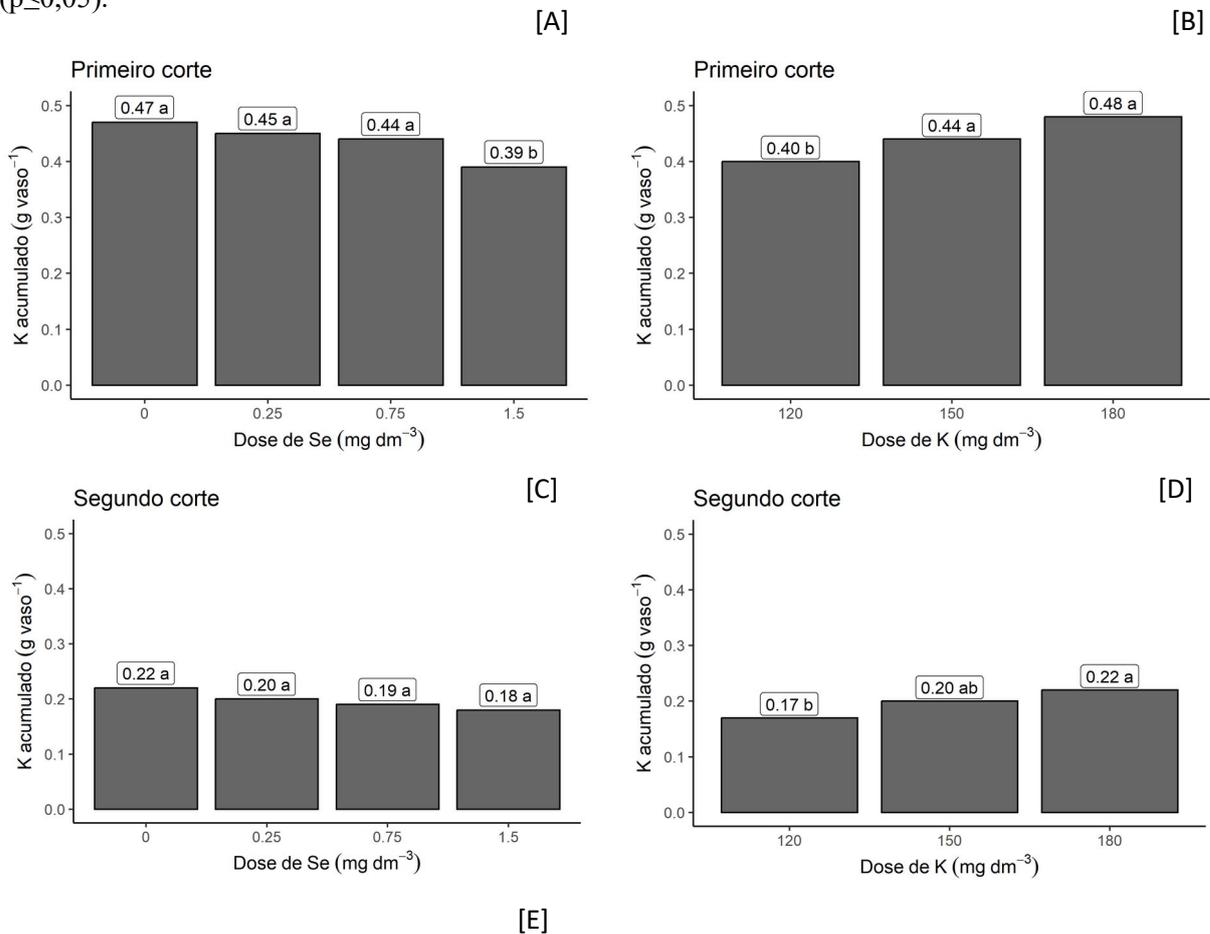
Os teores de K na raiz da *Brachiaria* não apontaram respostas significativas em relação as doses de Se e K aplicadas (Figura 12A, 12B).

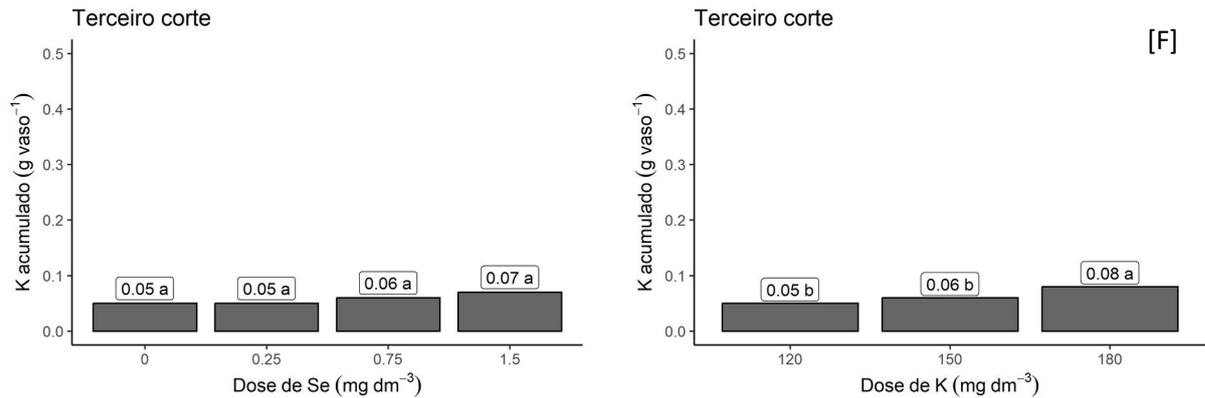
**Figura 12** - Teor de potássio da raiz na *Brachiaria (Brachiaria ruziziensis)* em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



O acúmulo de K na parte aérea das plantas de *Brachiaria* foram afetados pelo fornecimento de Se e K no primeiro corte (Figura 13A, 13B). Os maiores acúmulos de K 0,47 g vaso<sup>-1</sup>, 0,45 g vaso<sup>-1</sup> e 0,44 g vaso<sup>-1</sup> foram obtidos com o fornecimento de 0, 0,75 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup> de Se, representando um incremento de 20,51%, 15,38% e 12,82% em relação a dose de menor média (1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Se), respectivamente. Já o maior acúmulo de K foi obtido com a aplicação da dose 180 mg dm<sup>-3</sup> de K, apresentando média de 0,48 g vaso<sup>-1</sup> e um incremento de 20% em relação a dose de menor média (120 mg dm<sup>-3</sup>). No segundo e terceiro cortes não houve resposta significativa das aplicações de Se nos teores de K (Figura 13C, 13E). Ao passo que foi significativo o acúmulo de K em relação as doses de K aplicadas (Figura 13D, 13F). Apresentando médias de 0,22 g vaso<sup>-1</sup> e 0,08 g vaso<sup>-1</sup> na dose 180 mg dm<sup>-3</sup> de K, respectivamente, com incrementos de 29,41% e 60% quando comparadas a dose de menor média (120 mg dm<sup>-3</sup> de K) nos dois cortes respectivamente.

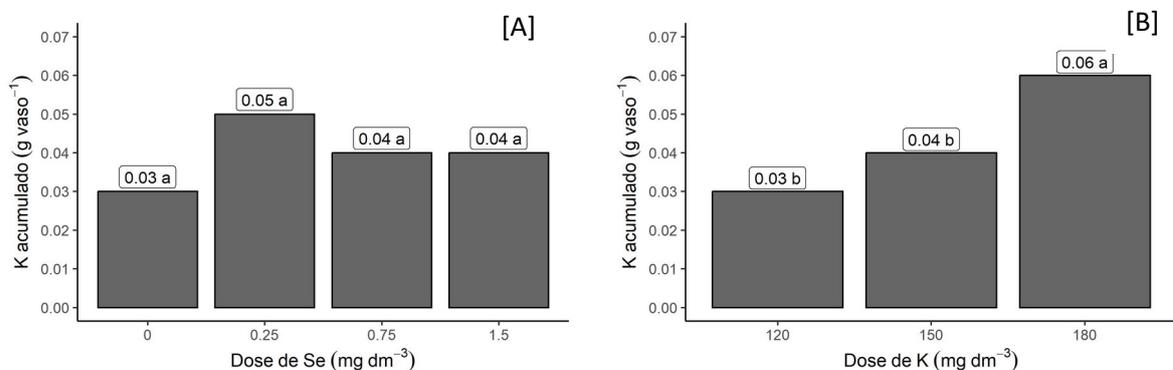
**Figura 13** - Acúmulo de potássio da parte aérea na *Brachiaria (Brachiaria ruziziensis)* em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).





Na raiz da *Brachiaria* não houve resposta significativa das aplicações de Se no acúmulo de K (Figura 14A). Ao passo que foi significativo em relação as doses de K aplicadas (Figura 14B). Apresentando média de 0,06 g vaso<sup>-1</sup> na dose 180 mg dm<sup>-3</sup> de K, respectivamente, com incremento de 100% quando comparada a dose de menor média (120 mg dm<sup>-3</sup> de K).

**Figura 14** - Acúmulo de potássio da raiz na *Brachiaria (Brachiaria ruziziensis)* em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



No que se refere aos teores e acúmulos de K, não foi observada interação significativa entre as doses de Se e K. No entanto, ocorreu uma redução na concentração de K no terceiro corte, tanto nas parcelas que receberam adubação com Se quanto nas que não receberam. Um estudo conduzido por Faria (2009), que avaliou os teores de Se nas folhas da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu após a aplicação de Se no solo, observou que o teor médio de K nas folhas reduziu de 39 g Kg<sup>-1</sup> no primeiro corte para 24 g Kg<sup>-1</sup> no segundo corte, mesmo com a aplicação de adubação potássica na implantação e em cobertura. Faria (2009) também observou que não houve efeito dos níveis de aplicação de Se nos teores e acúmulos de K, uma

resposta semelhante àquela observada em alguns cortes e na raiz deste estudo. No entanto, no primeiro corte da *Brachiaria*, foi observada uma resposta oposta na maior dose de Se.

Ao avaliar a resposta da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés aos níveis de K aplicados, Costa (2007) constatou que a adubação potássica significativamente incrementou os teores de K, uma observação que também foi feita por Dias (2020). Este último, ao analisar diferentes fontes de fertilizantes na produção de gramíneas, observou que a aplicação de KCl resultou em aumento dos teores e acúmulo de K na parte aérea de plantas de milho e da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, especialmente nas maiores doses fornecidas.

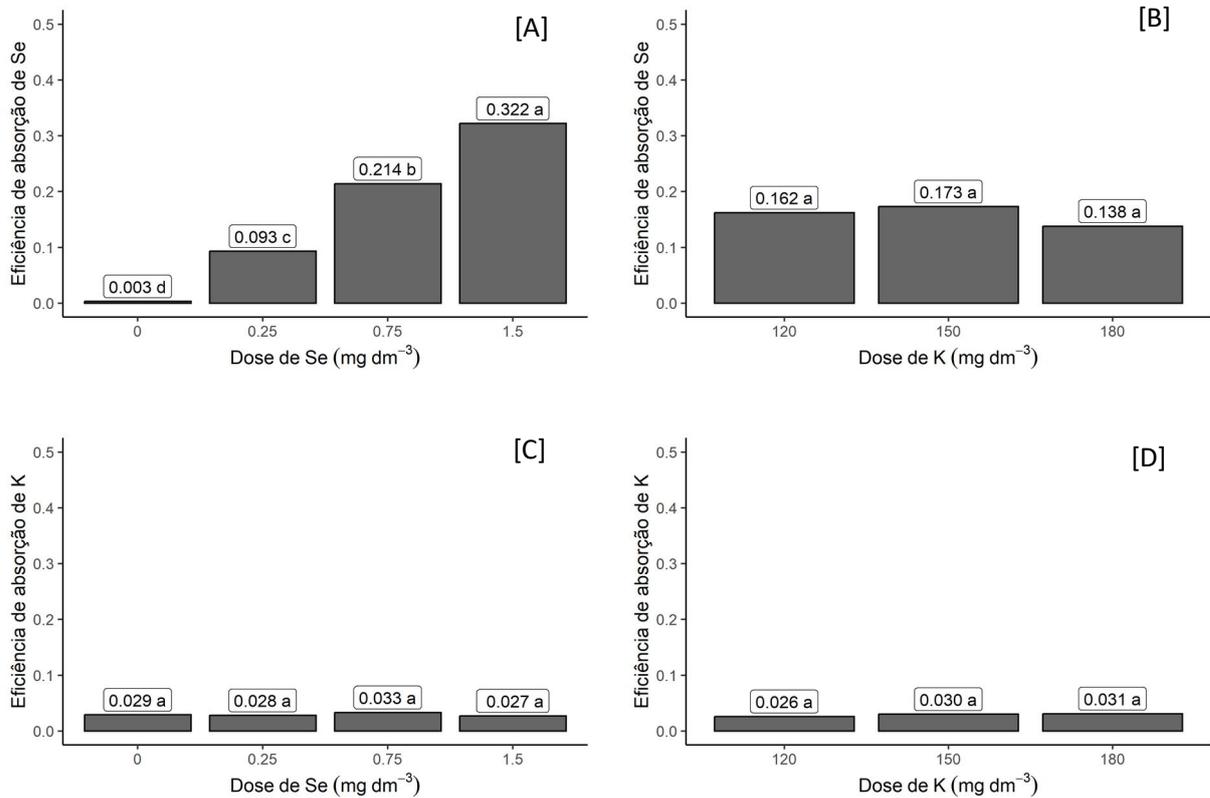
Em outro estudo realizado por Coutinho (2014) com plantas de Capim-tifton 85, utilizando doses de 60, 120 e 180 mg Kg<sup>-1</sup> de K, foi observado que a adição dessas doses resultou em um aumento significativo nos teores e no acúmulo desse macronutriente no solo. Essa mudança se refletiu nas concentrações de K na parte aérea das plantas. Notavelmente, esse comportamento foi observado apenas no primeiro e terceiro corte da *Brachiaria* neste trabalho.

No que diz respeito ao acúmulo de K nas raízes, não foi observada interação com as doses de Se aplicadas. No entanto, observou-se significância com as doses de K, particularmente nas doses mais altas. Esse resultado está em conformidade com o estudo de Campos (2015), que avaliou o estado nutricional de plantas de sorgo sacarino submetidas a adubações crescentes de K (19,5, 117, 234, 312 e 429 mg L<sup>-1</sup>). Verificando que os maiores acúmulos de K nas raízes ocorreram nas doses mais elevadas de K, refletindo em uma maior absorção pelas raízes em comparação com as doses menores.

#### 5.2.2.4. Índices de eficiência

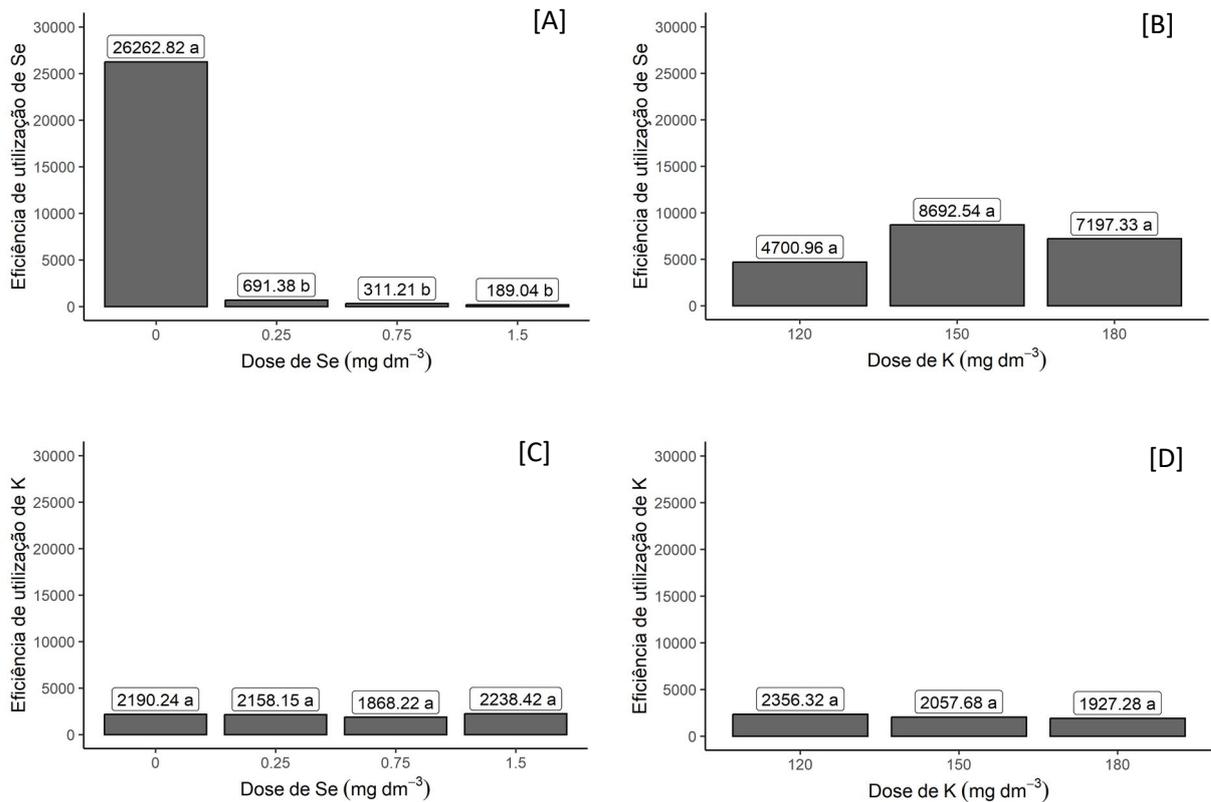
Na *Brachiaria* a eficiência de absorção (Ea) de Se foi significativamente influenciada pela dose de Se aplicada (Figura 15A). Onde a maior eficiência foi demonstrada na dose mais alta de Se (1,5 mg dm<sup>-3</sup>), apresentando valor médio de 0,322 mg g<sup>-1</sup> com incremento de 10,63% em relação ao controle (0 mg dm<sup>-3</sup> de Se). Por outro lado, a eficiência de absorção do Se não respondeu significativamente a aplicação das doses de K (Figura 15B). A eficiência de absorção do K não respondeu de forma diferenciada ao fornecimento das diferentes doses de Se e K (Figura 15C, 15D).

**Figura 15** - Eficiência de absorção ( $E_a$ ) de selênio e potássio na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



A eficiência de utilização ( $E_u$ ) do Se foi afetada diretamente pela dose de Se aplicada, onde a maior resposta foi observada na dose controle ( $0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se). A média obtida nessa dose foi de  $26262,82 \text{ g mg}^{-1}$ , mostrando um incremento de 137 vezes maior quando comparada a dose  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Se que apresentou menor média ( $189,04 \text{ g mg}^{-1}$ ) (Figura 16A). A eficiência de utilização do Se não respondeu ao fornecimento das doses de K (Figura 16B). A eficiência de utilização do K não obteve resposta significativa para a aplicação de K, como também para a aplicação de Se (Figura 16C, 16D).

**Figura 16** - Eficiência de utilização ( $E_u$ ) de selênio e potássio na *Brachiaria* (*Brachiaria ruziziensis*) em função das doses de Se e K aplicadas. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



Neste trabalho, não foi observada interação entre as doses de Se e K em relação aos índices. Entretanto, a eficiência de absorção do Se foi diretamente influenciada pelas doses de Se aplicadas. Isso pode ser atribuído à maior afinidade do selenato em ser absorvido pelas raízes das plantas quando estas estão em condições ótimas.

Sabe-se que a absorção, translocação e distribuição do Se dependem de diversos fatores, incluindo a espécie vegetal, a fase de desenvolvimento, a forma e a concentração do Se, as condições fisiológicas do solo (salinidade e pH), a presença de outras substâncias, a atividade de transportadores de membrana e os mecanismos de translocação da planta (ZHAO *et al.*, 2005; LI *et al.*, 2008; RENKEMA *et al.*, 2012).

Por outro lado, as doses de K não influenciaram na EA do Se. O mesmo foi observado para a EA do K, que não respondeu as doses de Se e K.

A Eficiência de Utilização (EU) do K não apresentou resposta a nenhuma das doses de Se, assim como à variação das doses de K. Essa observação diverge das conclusões de Costa (2007), que afirmou que a EU do K estava diretamente relacionada às doses aplicadas em seu estudo com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, realizado sob diferentes níveis de K.

Ao avaliar os efeitos da adubação potássica (0, 60, 120 e 180 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) em *Axonopus scoparius*, Costa (2004) observou que a máxima produção de forragem ocorreu

com a aplicação de 179,8 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. No entanto, as maiores taxas de Eficiência de Utilização (EU) do K foram registradas nas doses entre 60 e 80 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. No que diz respeito à Eficiência de Utilização do Se para as espécies estudadas, ela se mostrou inversamente proporcional às doses de Se aplicadas, o que não ocorreu com as doses de K. Vale ressaltar que não há literatura suficiente disponível para uma discussão mais aprofundada desses resultados.

#### 5.2.2.5. Considerações finais

A compreensão das interações iônicas é fator chave para realizar o manejo nutricional das culturas de forma equilibrada, visando aumentar a produtividade e a qualidade dos alimentos (FAGERIA, 2001; SILVA; TREVIZAM, 2015).

Neste estudo, foi demonstrado a presença de interação entre Se e K na espécie da *Brachiaria ruziziensis*. Assim, os efeitos dos níveis do fator Se (doses) sobre o crescimento, produção, teor de Se e K na parte aérea são modificados pelos níveis do fator K (doses) e vice-versa.

O conhecimento dos fatores nutricionais limitantes ao crescimento das gramíneas forrageiras é de grande importância para o estabelecimento, manejo e persistência das pastagens cultivadas. A fertilidade do solo exerce grande influência na produção de gramíneas. O manejo da fertilidade do solo, a prática da adubação e o conhecimento das exigências nutricionais das plantas forrageiras são fatores importantes para a melhoria de pastagens (SANTOS *et al.*, 2009).

Deste modo a interação nutricional observada nesse trabalho pode vir a se tornar uma grande aliada no manejo e nutrição das pastagens. Considerando que os nutrientes demonstraram uma interação positiva (sinérgica) entre si e os mesmos atuam em funções importantes para o metabolismo e desenvolvimento da planta.

## 6. CONCLUSÕES

Houve interações significativas entre o Se e o K na espécie *Brachiaria ruziziensis*, para as taxas de alongamento foliar, taxa de senescência, e também para os teores de Se.

Entretanto a espécie *Andropogon gayanus* não apresentou interação entre o Se e o K em nenhuma variável avaliada neste trabalho.

Quando observados de forma independente, os elementos estudados não demonstraram influência na produtividade das duas gramíneas e no desenvolvimento de ambas as espécies. Como também não houve influência na concentração dos elementos nas gramíneas.

## 7. REFERÊNCIAS

AMTMANN, A.; RUBIO, F. Potassium in plants. **Chichester: eLS.**, 2012.

ANDRADE, F. R. *et al.* Selenium protects rice plants from water deficit stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 164, p. 562-570, 2018.

Araújo, E. O.; Silva, M. A. C. Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, supl., p. 720- 727, 2012.

AVELAR, M. J. *et al*, Características morfológicas e características do Capim-andropogon sob irrigação e adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34 (5), p. 2427-2435, 2013.

BERNARDI, A.C.C.; RASSINI, J.B. Produção de matéria seca pelo Capim-tanzânia em função de doses e relações de nitrogênio e potássio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28, 2008, Londrina. **Anais... Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental**1. Londrina: Embrapa Soja: SBCS, 2008.

BOLLE-JONES, E.W. The Interactions of Iron and Potassium in the Potato Plant. **Plant Soil** 1955, 6, 129-173.

CABRAL, C.E.A., *et al*. Nitrogen requirement of Brachiaria hybrid cv. Ipyorã. **Bol Indústria Anim.** 2020.

CAMPOS, A. G. **Avaliação do estado nutricional, taxa fotossintética e produção de biomassa do sorgo sacarino submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio.** Dissertação de mestrado (Agronomia). USP, Piracicaba. 2015.

CAPPA, J. J., *et al*. Characterization of selenium and sulfur accumulation across the genus *Stanleya* (Brassicaceae): a field survey and common-garden experiment. **Am. J. Bot.** 101, 830–839. 2014.

CARTES, P. *et al*. Uptake of Selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. **Plant and Soil.** v. 276, p. 359–367. 2005.

CARY, E. E.; ALLAWAY, W. H. Selenium Content of Field Crops Grown on Selenite-Treated Soils<sup>1</sup>. **Agronomy Journal**, v. 65, p. 922, 1973.

CASTEEL, S.W.; BLODGETT, D.J. Selenium. Metals and Minerals, p.214-217. In: PLUMLEE, K.H. Clinical Veterinary Toxicology, Missouri: **Mosby Incorporation** St. Louis, 477p. 2004.

CHEN, Y. *et al*. Effects of nitrogen application on selenium accumulation, translocation and distribution of winter wheat at different growth periods (in Chinese). **J. Plant Nutr. Fert.** 22, 395–402. 2016.

CORRÊA, L. A. **Características Agronômicas das Principais Plantas Forrageiras Tropicais**. Concórdia: MAPA. 5 p. Comunicado técnico 35, 2002

COSTA, K. A. de P. *et al.* Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira**. v. 6, n. 3, p. 187-193. 2005.

COSTA N. L. *et al.* Acúmulo de forragem e morfogênese de *Axonopus aureus* sob adubação potássica. **Res., Soc. Dev.** 8(8): e49881270. 2019.

COSTA, N. L. *et al.* Resposta de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés à níveis de potássio. 2007.  
COUTINHO, E. L. M. *et al.* Calagem e adubação potássica para o Capim-tifton 85. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, supplement 1, p. 101-111, 2014.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1862–1866, 2007.

DAVIS, J. M. *et al.* Boron improves growth, yield, quality, and nutrient content of tomato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 3, p. 441-446, 2003.

DIAO, M.; MA, L.; WANG, J.; CUI, J.; FU, A.; LIU, H. Selenium Promotes the Growth and Photosynthesis of Tomato Seedlings Under Salt Stress by Enhancing Chloroplast Antioxidant Defense System. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, p. 671-682, 2014.

DIAS, R. C. *et al.* Acúmulo de biomassa e potássio em gramíneas em função da fonte fertilizante e do solo. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 33506-33518 jun. 2020.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Cerrado. Planaltina - DF: **Embrapa**. 15p. 2021.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do Solo**. Viçosa: UFV, Cap. 9. p. 551-594. 2007.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Growth and Nutrient Concentrations of Common Bean, Lowland Rice, Corn, Soybean, and Wheat at Different Soil pH on an Inceptisol. **J. Plant Nutr.** 22, 1495-1507. 1999.

FAGERIA, V. D. Nutrient Interactions. In: Crop Plants, **Journal of Plant Nutrition**, 24 (8), 1269-1290, 2001.

FARIA, A. F. *et al.* Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, n. 1, p. 26-37, 2012.

FARIA, A.J.G. *et al.* Efeitos da adubação nitrogenada e potássica na produtividade do Capim mombaça cultivados sobre adubação fosfatada. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v.2, n.3, p.98-106, 2015.

FARIA, L. A. *et al.* Enriquecimento de braquiária com ureia revestida com selênio. **Ciência Rural**, v.48, n.6, 2018.

FARIA, L. A. Levantamento sobre Selênio em solos e plantas do Estado de São Paulo e sua aplicação em plantas forrageiras. Dissertação de mestrado (Zootecnia). USP. Pirassununga. 2009.

FENG, R.; WEI, C.; TU, S. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 87, p. 58-68, 2013.

FLORES, R. A. *et al.* Andropogon grass consortium with stylo in two times: the forage response and sources of phosphorus rates. **Bioscience Journal**, p. 824-832, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Animal Feed Resources Information System. A6 Andropogon gayanus Kunth. 2004.

FONSECA, D. M., MARTUSCELLO, J. A. Plantas forrageiras. 1ed. Viçosa. **Editora UFV**. 2010.

GARCEZ NETO, A.F. *et al.* Respostas morfogênicas e estruturais de Panicum maximum cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.1890-1900, 2002.

GOMIDE, C. A. M. *et al.* Productive and morphophysiological responses of Panicum maximum Jacq. cv. BRS Zuri to timing and doses of nitrogen application and defoliation intensity. **Grassland Science**, v.1, n.8, p.1-7, 2019.

GOUVEIA, G. C. C. **Caracterização de sintomas fitotóxicos de selênio e biofortificação agrônômica com se e zn em arroz de terras altas**. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2020.

GRUNES, D.L.; HUANG, J.W.; SMITH, F.W.; JOO, P.K.; HEWES, D.A. Potassium Effects on Minerals and Organic Acids in Three Cool Season Grasses. **J. Plant Nutr.** 15, 1007-1025. 1992.

GUPTA M AND GUPTA S. An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. **Front. Plant Sci.** 7:2074. 2017.

GUPTA, U.C. Boron Nutrition of Crops. **Adv. Agron.** 31, 273-307. 1979.

HALL J.A., *et al.* Impact of selenium biofortification on production characteristics of forages grown following standard management practices in Oregon. **Front. Plant Sci.** 14:1121605. 2023

HARRIS, J., SCHNEBERG, K. A., AND PILON-SMITS, E. A. Sulfur–selenium–molybdenum interactions distinguish selenium hyperaccumulator *Stanleya pinnata* from non-hyperaccumulator *Brassica juncea* (Brassicaceae). **Planta** 239, 479–491. 2014.

HASANUZZAMAN. M. *et al.* Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. **Agronomy**, 8, 31. 2020

HAWRYLAK-NOWAK, B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 70, n. 2, p. 149–157, 2013.

HAWRYLAK-NOWAK, B.; MATRASZEK, R.; POGORZELEC, M. The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, p. 1-13, 2015.

IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados definitivos. **Censo agropecuário**, 2019.

KARIA, C. T. *et al.* Desenvolvimento de cultivares do gênero *Brachiaria* (trin.) Griseb. No Brasil, Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, p.18- 20, 2009.

KIM, H. *et al.* Role of O-acetyl-L-serine in the coordinated regulation of the expression of a soybean seed storage-protein gene by sulfur and nitrogen nutrition. **Planta** 209, 282–289. 1999.

LAVRES JUNIOR, J. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o Capim-mombaça**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. 2001.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Combinações de doses de nitrogênio e potássio para a produção do Capim-mombaça. **Boletim de Indústria Animal**, v. 59, n. 2, p. 101-114, 2002.

LEE, S. *et al.* Effect of phosphate and sulfate fertilizers on selenium uptake by wheat (*Triticum aestivum*). **Soil Sci. Plant Nutri.** 57, 696–704. 2011.

LI, H. F., MCGRATH, S. P., AND ZHAO, F. J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. *New Phytol.* 178, 92–102. 2008.

MACKOWIAK, C. L., AND AMACHER, M. C. Soil sulfur amendments suppress selenium uptake by alfalfa and western wheatgrass. **J. Environ. Qual.** 37, 772– 779. 2008.

MAGALHÃES, J. A. *et al.* Características morfológicas e estruturais do Capim-andropogon sob irrigação e adubação. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(5), 2427-2435. 2013.

MALAGOLI, M.; SCHIAVON, M.; DALL'ACQUA, S.; PILON-SMITS, E. a H. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 280, 2015.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, p. 319. 1997

MARSCHNER, P. Mineral nutrition of higher plants. 3<sup>a</sup> ed. **Austrália: Elsevier**, 651 p. 2012.

MARTUSCELLO, J.A. *et al.* Níveis de fósforo no solo e na parte aérea no estabelecimento de Capim elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.10, p.1878-1885, 2009.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. 5.ed. **Dordrecht: Kluwer Academic Publishers**. p. 849. 2001.

MEURER, E. J. *et al.* Potássio. **Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 281-298, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução normativa Nº 46 de 22 de Novembro de 2016.

MOTA, L. G. *et al.* Morphological characteristics and production of xaraes and zuri grass fertilized with combinations of sulfur and potassium. **Bol. Ind. Anim.**, Nova Odessa, v. 78, 2021.

OTTO, R; VITTI, G. C; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1137-1145, 2010.

PILON-SMITS, E. A.; QUINN, C. F.; TAPKEN, W.; MALAGOLI, M.; SCHIAVON, M. Physiological functions of beneficial elements. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 267-274, 2009.

PRADO, R. M. Nutrição de plantas. São Paulo: Editora Unesp, 407 p. 2008.

QUADROS. L. F. L. *et al.* Morfogênese de *Lolium multiflorum* Lam. e *Paspalum urvillei* Steud sob níveis de adubação de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v.35, n.1 p. 181-186, 2005

RABÊLO F.H. S. *et al.* Características agronômicas e bromatológicas do milho submetido a adubações com potássio na produção de silagem. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 635-643, jul-set, 2013.

RAMANI, S.; KANNAN, S. Effects of Certain Cations on Manganese Absorption by Excised Rice Roots. *Commun. Soil Sci.* **Plant Anal.** 1974, 5, 435-439.

RAMOS. S. J. *et al.* Response of *Brachiaria* grass to selenium forms applied in a tropical soil. **Plant Soil Environ.**, 58, 2012 (11): 521–527.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2020.

REIS, A. R. *et al.* Selenium toxicity in upland field-grown rice: Seed physiology responses and nutrient distribution using the  $\mu$ -XRF technique. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 190, p. 110147, 2020.

REIS, H. P. G. *et al.* Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 508–515, 2018.

REIS, L. I. P. D. Adubação nitrogenada foliar sobre a produção de pastagens: revisão de literatura. 2021.

RENKEMA, H., *et al.* The effect of transpiration on selenium uptake and mobility in durum wheat and spring canola. *Plant Soil* 354, 239–250. 2012.

ROBSON, A.D.; PITMAN, J.B. Interactions Between Nutrients in Higher Plants. In *Inorganic Plant Nutrition: Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 1; Lauchli, A., Bielecki, R.L., Eds.; Springer-Verlag: New York; 147-180. 1983.

RODRIGUES C.S. *et al.* Grupos funcionais de gramíneas forrageiras tropicais. **Rev Bras Zootec.** 2012.

SANCHÊS. S. S. C. *et al.* Produção de forragem e características morfofisiológicas do Capim-mulato cultivado em latossolo do cerrado em função de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.3, n.1, p.81-89, julho, 2013.

SANTOS, L. C. *et al.* Características morfogênicas de braquiárias em resposta a diferentes adubações. **Acta Scientiarum.** Agronomy, v. 31, p. 221-226, 2009.

SANTOS, G.O., *et al.* Productivity and nutrient 1219 extraction by *Brachiaria brizantha* fertigated with treated sewage effluent. **Aust J Crop Sci.** v. 13: p. 494-501. 2019.

SANTOS, P. M. **Controle do desenvolvimento das hastes no Capim-tanzânia: um desafio.** Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2002.

SIDDIQI M.Y. & GLASS A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, 4:289-302. 1981.

SILVA, J. M. Produtividade e características morfológicas do híbrido mavuno (b. Brizantha x b. Ruziziensis) sob diferentes frequências e intensidades de corte. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia). IF Sertão PE Campus Petrolina. 2022.

SILVA JUNIOR, E. C. *et al.* Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. **Chemosphere**, v. 188, p. 650–658, 2017.

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações Agronômicas**, n. 149, p. 10–16, 2015.

SIMILI, F. F *et al.* Respostas do híbrido de sorgo-sudão às adubações nitrogenada e potássica: características estruturais e produtivas. **Ciência & Agrotecnologia**, v.34 n.1, p.87-94, 2010.

SHUKLA, U.C.; MUKHI, A.K. Ameliorative Role of Zn, K, and Gypsum on Maize: Growth Under Alkali Soil Conditions. **Agron. J.** 1980, 72, 85-88.

SMITH, D. Effects of Potassium Topdressing a Low Fertility Silt Loam Soil on Alfalfa Herbage Yields and Composition and on K Values. **Agron. J.** 1975, 67, 60-64.

SOARES, M. J. A. A. *et al.* Respostas morfogênicas e estruturais da Brachiaria brizantha cv. Piatã, a fertilização com potássio na região do mato grosso. 2019.

SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis Research**, v. 86, p. 373-389, 2005.

SOUZA, M. R. F. *et al.* Produção de forragem do Capim-tanzânia sob intervalos de corte e doses de potássio. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1532-1536, 2007.

SWIADER J.M., CHYAN Y. & FREIJI F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, 17:1687-1699. 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. Sunderland: **Sinauer Associates**. p. 792. 1998.

TERRY, N. *et al.* Selenium in higher plants. **Annual review of plant biology**, v. 51, n. 1, p. 401-432, 2000.

VERÁS, E. L. L. **Características produtivas, morfofisiológicas e sanitárias de cultivares forrageiras adubadas com potássio.** Tese de doutorado. Pós-Graduação Em Ciência Animal. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande. 2021.

VETTERLEIN, D. *et al.* Illite transformation and potassium release upon changes in composition of the rhizosphere soil solution. **Plant Soil** v. 371, p. 267–279 2013.

WHELAN, B. R. E BARROW, N. J. Fertilizantes de selênio de liberação lenta para corrigir a deficiência de selênio em ovinos em pastejo na Austrália Ocidental. **Fert. Res.** v. 38, p. 183-188. 1994.

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**, v. 182, p. 49-84, 2009.

WHITE, P. J. *et al.* Selenium accumulation by plants. **Annals of Botany**, v. 117, p. 217-235, 2016.

WU, Z. *et al.* Biofortificação e fitorremediação de selênio na China. Frente. **Plant Sci.** 6:136. 2015.

YANG, Q.; WANG, Y.; ZHANG, J.; SHI, W.; QIAN, C.; PENG, X. Identification of aluminum-responsive proteins in rice roots by a proteomic approach: Cysteine synthase as a key player in Al response. **PROTEOMICS**, v.7, p.737–749 2007.

ZHANG, D. *et al.* Selenium accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L) as affected by co-application of either selenite or selenate with phosphorus. **Soil Sci. Plant Nutri.** 63, 37–44. 2017.

ZHANG, L. *et al.* H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Ca<sup>2+</sup>, and K<sup>+</sup> in subsidiary cells of maize leaves are involved in regulatory signaling of stomatal movement. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 1152, p. 243-251, 2020.

ZHAO, Duli *et al.* Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. **European journal of agronomy**, v. 22, n. 4, p. 391-403, 2005.

ZHOU, X. *et al.* Effects of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil (In Chinese). **Acta Pedol. Sin.** 52, 1069–1077. 2015.

ZHOU, X. *et al.* Selenium biofortification and interaction with other elements in plants: A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1–18, 2020.

ZORB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture - Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 171, p. 656-669, 2013.