

**SPONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
CURSO DE AGRONOMIA**

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO (*Zea mays L.*) SOB
APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE MAGNÉSIO**

ANA JULIA RIBEIRO ALVES

Goiânia

2024

ANA JULIA RIBEIRO ALVES

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO (*Zea mays L.*) SOB
APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE MAGNÉSIO**

Artigo apresentado como requisito parcial para a composição de média final na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de graduação em Agronomia, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC-GO.

Orientador: Prof. Dr. Jales Teixeira Chaves Filho

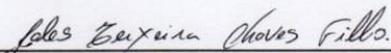
Goiânia

2024

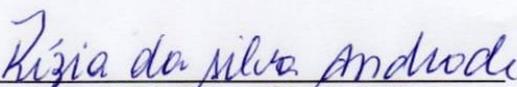
ANA JULIA RIBEIRO ALVES

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO (*Zea mays L.*) SOB
APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE MAGNÉSIO**

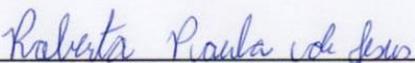
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Jales Teixeira Chaves Filho
Pontifícia Universidade Católica de Goiás



Profª. Drª. Rizia da Silva Andrade
Pontifícia Universidade Católica de Goiás



Profª. Drª. Roberta Paula de Jesus
Universidade UniGoiás

Aprovada em 10/12/2024.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e a Nossa Senhora, que estiveram comigo em cada passo desta caminhada. Foi em Sua presença que encontrei força nos momentos difíceis, sabedoria para enfrentar os desafios e serenidade para seguir em frente, mesmo quando tudo parecia impossível. Sem a graça divina, nada disso teria se concretizado.

Aos meus pais, Wilmar e Rosangela, meu porto seguro e minha base. Não há palavras suficientes para expressar minha gratidão por todo o amor incondicional, paciência e apoio que sempre me ofereceram. Vocês foram minha força quando eu duvidei de mim mesma e meu alicerce em todos os momentos. Vocês são e sempre serão minha maior inspiração e meu orgulho.

À minha irmã, Sara, minha companheira de vida. Obrigada por estar sempre ao meu lado, compartilhando sonhos, oferecendo conselhos e me ajudando a enxergar o melhor em cada situação. Sua presença tornou essa jornada mais leve e especial.

Ao meu namorado, Gian Carlos, que esteve ao meu lado com tanto amor e paciência. Obrigada por cada palavra de incentivo, por sua paciência e por nunca deixar de acreditar em mim.

À Silvana e ao Roberto, minha eterna gratidão. Vocês foram peças fundamentais nessa caminhada, oferecendo confiança, apoio e incentivo no início da minha trajetória acadêmica. O carinho e a motivação de vocês fizeram toda a diferença e serão sempre lembrados com muito afeto.

Às minhas amigas Laiane e Gabriela, companheiras de risadas, lágrimas e conquistas. Obrigada por sempre me fazerem sentir que eu nunca estava sozinha. A amizade de vocês tornou minha vida mais especial

Aos meus familiares, cada um de vocês ocupa um lugar especial em meu coração. Obrigada pelo amor, pelo apoio e por sempre acreditarem no meu potencial. Cada gesto, cada palavra e cada demonstração de carinho foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Sou profundamente grata por fazer parte de uma família tão unida e amorosa

Não poderia deixar de expressar minha imensa gratidão ao meu orientador, Jales Teixeira Chaves Filho. Sua paciência, dedicação e orientação foram essenciais para que eu pudesse superar os desafios e alcançar esta conquista. Obrigada por compartilhar seu conhecimento, por me guiar com sabedoria e, acima de tudo, por

acreditar no meu potencial. Sua confiança e incentivo fizeram toda a diferença nesta caminhada. Serei eternamente grata por ter tido a oportunidade de aprender com você.

A cada um de vocês, meu mais profundo e sincero agradecimento. Este trabalho não é apenas o resultado do meu esforço, mas também do amor, da paciência e do apoio que recebi de todos vocês. Obrigada por fazerem parte desta jornada e por tornarem esta conquista possível.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVO.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1. A cultura do milho	11
3.2. O Magnésio	13
3.3. Importância do Magnésio para as Plantas	15
3.4. Deficiência de Magnésio na Cultura do Milho.....	16
3.5. Interação do Magnésio com Outros Nutrientes	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1. Primeira Fase: Germinação	20
4.2. Segunda Fase: Vegetativa, estágio V4	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6. CONCLUSÃO.....	31
7. REFERÊNCIAS	32
8. APÊNDICE	39

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Disposição das unidades experimentais do experimento para comparar o efeito das diferentes concentrações de magnésio sobre o crescimento inicial do milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018 aos 7 dias. 19
- Figura 2 - Preparo e adubação de solo em recipiente para plantio. Recipientes preenchidos até a metade com solo e adubos (A). Recipientes completamente preenchidos (B). 21
- Figura 3 - Disposição das unidades experimentais do experimento e aspecto geral das plantas em diferentes concentrações de magnésio sobre o crescimento inicial do milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018 aos 7 dias. 23
- Figura 4 - Média de altura e comprimento de raiz de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 7 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais. 24
- Figura 5 - Experimento para verificar o efeito de diferentes concentrações de magnésio em plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo durante 20 dias em condições experimentais. Em A as plantas são apresentadas no início do experimento antes de receber as concentrações de magnésio e em B as plantas em crescimento nas condições do laboratório. 25
- Figura 6 - Média do número de folhas em plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 20 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais. 27
- Figura 7 - Média de altura e comprimento de raiz de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 20 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais. 28
- Figura 8 - Média de diâmetro do caule de plantas milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 20 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais. 29
- Figura 9 - Média de biomassa fresca e matéria seca de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 20 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais. 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teste de F de altura de planta e comprimento de raiz de milho (<i>Zea mays</i>) no estágio VE.	24
Tabela 2 - Teste de F de comprimento de raiz, altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, biomassa acumulada e matéria seca de milho (<i>Zea mays</i>) no estágio V4.	26

Avaliação do desenvolvimento inicial do milho (*zea mays l.*) Sob aplicação de diferentes doses de magnésio

Evaluation of the initial development of corn (*zea mays l.*) under application of different doses of magnesium

Ana Julia Ribeiro Alves¹

Pontifícia Universidade Católica, Escola politécnica, Goiânia GO, Brasil

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de diferentes doses de sulfato de magnésio ($MgSO_4$) no desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays L.*). Foram testados cinco tratamentos (T0: 0 ppm; T50: 50 ppm; T100: 100 ppm; T200: 200 ppm; T300: 300 ppm de $MgSO_4$), com cinco repetições cada. O experimento foi realizado em duas fases: a fase de germinação, conduzida em laboratório, na qual foram analisados a altura das plântulas (AP) e o comprimento das raízes, e a fase vegetativa (V4), quando foram avaliados altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), biomassa acumulada (BA) e matéria seca (MS). Inicialmente, as plantas foram cultivadas em laboratório e, posteriormente, mantidas em condições naturais por 20 dias. A análise estatística foi realizada por meio de ANOVA no software Excel, considerando um nível de significância de 5%. Os resultados não indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos em ambas as fases do experimento. Foi constatado que a suplementação de magnésio externo não influenciou o crescimento inicial das plantas até os 20 dias, período em que os nutrientes provenientes do endosperma foram suficientes para sustentar o desenvolvimento. Conclui-se que a aplicação de magnésio é mais relevante em etapas posteriores do crescimento da cultura.

Palavras-chave: magnésio; milho; desenvolvimento inicial; fotossíntese

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the impact of different doses of magnesium sulfate ($MgSO_4$) on the initial development of corn (*Zea mays L.*). Five treatments were tested (T0: 0 ppm; T50: 50 ppm; T100: 100 ppm; T200: 200 ppm; T300: 300 ppm of $MgSO_4$), with five replicates each. The experiment was carried out in two phases: the germination phase, conducted in the laboratory, in which seedling height and root length were analyzed, and the vegetative phase (V4), in which plant height, stem diameter, number of leaves, accumulated biomass and dry matter were evaluated. Initially, the plants were grown in the laboratory and, subsequently, kept under natural conditions for 20 days. Statistical analysis was performed using ANOVA in Excel software, considering a significance level of 5%. The results did not indicate statistically significant differences between treatments in both phases of the experiment. It was found that external magnesium supplementation did not influence the initial growth of plants up to 20 days, a period in which nutrients from the endosperm were sufficient to

sustain development. It is concluded that magnesium application is more relevant in later stages of crop growth.

Keywords: magnesium; corn; early development; photosynthesis

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*), pertencente à família Poaceae, é uma espécie originária da América do Norte e atualmente figura entre os cereais mais cultivados e produzidos no mundo, devido à sua ampla adaptação às diferentes condições ambientais e ao elevado valor nutricional. Sua versatilidade permite o uso tanto na alimentação humana quanto animal, além de ser uma importante fonte de renda, especialmente pela produção de grãos (Silveira *et al.*, 2015; Coser, 2010).

No Brasil, a cultura do milho tem registrado avanços notáveis a cada safra. Na temporada 2022/2023, a produção total de grãos atingiu 322,8 milhões de toneladas, um aumento de 50,1 milhões de toneladas em relação ao ciclo anterior, representando um crescimento de 18,4%. Especificamente para o milho, a safra foi histórica, com uma produção de 131,9 milhões de toneladas, consolidando o Brasil como o maior exportador mundial, com 54 milhões de toneladas exportadas (Agência Brasil, 2023; Conab, 2023).

O milho destaca-se como uma das plantas mais eficientes no armazenamento de energia na natureza (Aldrich *et al.*, 1982), um fator intimamente ligado ao macronutriente magnésio. Essencial para a fisiologia vegetal, o magnésio desempenha papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas. Ele é constituinte da molécula de clorofila, atua como cofator em diversas enzimas fotossintéticas e participa na formação do composto Mg-ATP, indispensável ao ciclo de Calvin-Benson (Berardi *et al.*, 2014, apud Silva, 2023).

Deficiências de magnésio são particularmente prejudiciais em áreas de agricultura intensiva, comprometendo o transporte de sacarose no floema e acumulando carboidratos nas folhas, o que interfere nos processos fotossintéticos e nas atividades enzimáticas essenciais para o desenvolvimento vegetal (Cakmak ;Kirby, 2008). A ausência de Mg resulta em impactos negativos na clorofila e na eficiência fisiológica das plantas, afetando a produtividade.

Este trabalho baseia-se na relevância do magnésio como um macronutriente essencial para o desenvolvimento do milho (*Zea mays L.*) e sua ampla utilização em sistemas agrícolas intensivos. O magnésio desempenha funções vitais, como constituinte da clorofila e cofator enzimático na fotossíntese, além de ser fundamental para o transporte de açúcares no floema. A deficiência desse nutriente pode

comprometer processos fisiológicos cruciais, resultando em redução no crescimento e na produtividade da cultura.

Diante disso, avaliar o impacto de diferentes doses de magnésio no crescimento inicial do milho é indispensável para otimizar o manejo nutricional, especialmente em regiões de alta intensidade agrícola. Identificar a dose ideal permitirá maior eficiência no uso de insumos, promovendo o desenvolvimento vigoroso das plantas e contribuindo para a sustentabilidade e a competitividade do setor agrícola.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto de diferentes doses de magnésio no crescimento inicial do milho, considerando variáveis agronômicas como altura da planta, comprimento de raiz, diâmetro do caule, número de folhas, biomassa acumulada e matéria seca. A pesquisa visa identificar a dose de magnésio mais eficaz para promover o desenvolvimento saudável e vigoroso das plantas nas fases iniciais, com o intuito de otimizar o manejo nutricional e aumentar a produtividade da cultura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*) é uma monocotiledônea da família Poaceae, muito domesticada e com ciclo que depende do genótipo e do clima da região, podendo variar de 90 a mais de 180 dias. É uma espécie C4 sendo extremamente eficiente na assimilação de CO₂, com alta taxa de atividade fotossintética. As variedades melhoradas estão entre as espécies alimentares mais produtivas mundialmente. A taxa de multiplicação é uma das mais elevadas da produção vegetal, possibilitando produtividades superiores a 15 toneladas por hectare com menos de 20 kg de sementes (Oliveira *et al.*, 2020).

O milho é uma das principais culturas de cereais cultivadas no Brasil e no mundo. Esta cultura tem sido amplamente cultivada em todo o território brasileiro devido a sua ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas do Brasil e devido a sua ampla utilização na alimentação animal e humana ou como matéria-prima para a

indústria (Galvão *et al.*, 2017). Além da relevância no aspecto de segurança alimentar, na alimentação humana e, principalmente, animal, é possível produzir com o milho uma infinidade de produtos, tais como combustíveis, bebidas, polímeros, etc. (Miranda, 2018).

Para Caldarelli e Bacchi (2012), alguns fatores contribuíram para alavancar a expansão da cultura do milho em terras brasileiras. Maior rentabilidade do agricultor com a valorização do grão, desregulamentação da economia, acordos internacionais com redução das tarifas de importação, impulsionaram a produção nacional de grãos colocando o país a um patamar de maior competitividade. No decorrer das últimas décadas, o milho alcançou o patamar de maior cultura agrícola do mundo, sendo a única a ter ultrapassado a marca de 1 bilhão de toneladas, abandonando antigos concorrentes, como o arroz e o trigo. Pesquisas atuais voltadas para a safra 2022/23 mostram dados expressivos sobre a produção de grãos. Neste ciclo, o 12º levantamento divulgado expressa que a produção está estimada em 322,8 milhões de toneladas. desta forma, o volume representa um crescimento de 18,4%, o que corresponde a 50,1 milhões de toneladas colhidas a mais sobre a temporada anterior. este resultado é reflexo de uma área plantada, correspondente à 78,5 milhões de hectares, como também de uma produtividade média equivalente à 4.111 kg/ha (CONAB, 2023). Da produção nacional total, a região Centro-Oeste foi responsável pela produção de cerca de 72 milhões de toneladas e o Goiás teve em torno de 13 milhões de toneladas de milho produzidas (“Relatório Agroeconômico Do Centro-Oeste 4º trimestre de 2022, [s.d.]). Os bons resultados da safra brasileira colocam o Brasil como o principal exportador de milho na safra 2022/23 (CONAB 2023).

Segundo Pons e Bersolin (1981), o milho é uma planta herbácea e monoica, apresentando flores masculinas e femininas em inflorescências separadas na mesma planta. Trata-se de uma cultura anual, com ciclo de desenvolvimento completo em cerca de quatro a cinco meses. O caráter monóico e a morfologia distinta do milho resultam de adaptações estruturais específicas das gramíneas, incluindo a supressão, condensação e multiplicação de partes anatômicas básicas (Magalhães *et al.*, 2002).

Os tipos de raízes presentes no milho são: primárias e seminais, adventícias ou de suporte (Magalhães *et al.*, 1995). Possui caule do tipo colmo, composto de nós e entrenós. Na parte superior desse caule, as folhas estão dispostas de forma alternada ao longo do diâmetro. Elas têm um limbo largo, comprido e geralmente liso, formando um ângulo de 90º com o caule e sendo sustentadas por uma nervura

principal resistente (Morais, 2012). Apresenta sistema radicular próprio das gramíneas, do tipo fasciculado ou em “cabeleira”, atingindo uma profundidade de 1,5 a 3,0 m de comprimento, localizado nas camadas mais superficiais aos 0,30 m, o que explica a pouca tolerância à deficiência hídrica; e raízes tipo escoras, conhecidas como adventícias ao qual auxiliam na fixação do caule da planta ajudando na absorção de sais minerais em solução (Fornasier Filho, 2007). O período vegetativo depende dos fatores climáticos, onde o florescimento acontece em média de 5 a 12 semanas após a semeadura, podendo chegar até 10 meses. Em locais de clima temperado nos dias longos o florescimento acontece mais tardiamente (Barbano *et al.*, 2001). O caule, além de ter a função de suportar as folhas e partes florais, é também um órgão de reserva, armazenando sacarose (Barros; Calado 2014).

De acordo com Resende *et al.* (2003), a identificação utilizada para definir o padrão de desenvolvimento da planta em estádios é: vegetativo (V) e reprodutivo (R). Os estádios vegetativos e reprodutivos podem ser subdivididos em: (VE) emergência, (V1) uma folha desenvolvida, (V2) duas folhas desenvolvidas, (V3) três folhas desenvolvidas, (V4) quatro folhas desenvolvidas, (Vn) n folhas desenvolvidas, (VT) pendoamento, (R1) embonecamento e polinização, (R2) - grão Bolha d'água, (R3) - Grão Leitoso, R4 - Grão Pastoso, R5 - Formação de dente, R6 - Maturidade Fisiológica. Cada uma dessas fases é composta por estágios distintos, que são cruciais para o crescimento da planta e a formação dos grãos. Compreender essas fases ajuda no manejo adequado da cultura, garantindo produtividade máxima.

3.2. O Magnésio

O magnésio é um elemento químico essencial ao crescimento das plantas (Embrapa, 1999). O Mg, também tido com um macronutrientes secundário, tem sua origem primária em rochas ígneas e os principais minerais que o contêm são a biotita, dolomita, clorita, serpentina e olivina, componentes também de rochas metamórficas e sedimentares. O Mg faz parte da estrutura de minerais de argila, correndo em illita, vermiculita e montmorilomita (Faquin, 2005). No entanto, a principal fonte de Mg para o manejo da fertilidade do solo é a dolomita - $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (Sousa *et al.*, 2007; Raji, 2011). Um dos fatores que afetam o rendimento do milho é a nutrição mineral de plantas. Dentre os macronutrientes, pode-se destacar o Mg, uma vez que é

responsável ativamente por vários processos fundamentais para o crescimento e desenvolvimento da planta (Silva Júnior, 2015).

Para o solo do cerrado, sua importância deve-se ao fato de seus teores serem baixos na maioria dos solos da região, em condições naturais. Nos solos cultivados sua deficiência, embora não seja tão frequente, tem sido verificada em culturas anuais e perenes, limitando o rendimento (Embrapa, 1999).

As frações de Mg encontradas no solo são: não-trocável, trocável e fração hidrossolúvel. A parte não-trocável consiste no Mg presente nos minerais primários e minerais de argilas secundárias. A fração trocável corresponde por volta de 5% da quantidade total do nutriente presente no solo, sendo responsável por 4 a 20% da CTC (Kirkby; Mengel, 1976). A concentração do nutriente na composição da superfície dos solos é muito baixa, ficando entre 0,03 e 0,84%, apresentando os solos arenosos os níveis mais baixos (em torno de 0,05%) e solos argilosos com teores mais elevados (em torno de 0,50%) (Nilsson, 1987; Kirkby; Mengel, 1976).

Os solos brasileiros são de modo geral pobres em Mg. Isso se deve tanto ao material de origem com baixas concentrações no nutriente quanto a intensos processos pedogenéticos ao longo da formação dos solos nos quais os produtos de intemperização como o Mg são lixiviados. O processo de acidificação do solo também influencia negativamente o Mg devido a reduzida estabilidade de carbonatos, sulfatos, silicatos e aluminossilicatos de Mg em meios ácidos (Castro *et al.*, 2020). A disponibilidade de Mg pode ser afetada pela presença de outros íons, podendo ocorrer interações positivas ou negativas entre os íons disponíveis, afetando assim a disponibilidade ou absorção dos mesmos. Segundo Wiend (2007), deve haver um balanço ideal entre Ca, Mg e K. Altos níveis de potássio podem deprimir a assimilação de Mg, devido à uma absorção preferencial de K pelas plantas. Baixos teores de Mg no solo podem limitar a produção de grãos e de biomassa (Canizella, 2014).

Diversos fatores podem causar a baixa disponibilidade de Mg às plantas, sendo eles: baixa concentração do nutriente nas rochas formadoras do solo (Papenfus e Eiro, 1979); perdas no solo (Maathuis, 2009; Gransee; Furs, 2013); cultivos a longo prazo com fertilização de Mg desbalanceada, além da extração das culturas (Van der pol; Traore, 1993); excessiva acidez do solo resultando em altos teores de manganês (Mn) e alumínio (Al), baixa disponibilidade de água e baixa transpiração (Lynch; St.Clair, 2004; Gransee; Furs, 2013); e o manejo inadequado da adubação potássica,

devido ao antagonismo de absorção com o Mg (Guet-Bara *et al.*, 2007; Cai *et al.*, 2012).

3.3. Importância do Magnésio para as Plantas

O magnésio (Mg) tem efeitos diretos na fisiologia vegetal, pois é constituinte da molécula de clorofila, além de cofator de várias enzimas fotossintéticas (Silva, 2023). Sua funcionalidade na planta está na ativação enzimática, no controle do pH nas células e no balanço de cargas, o que demonstra a importância desse nutriente para o metabolismo celular e, conseqüentemente, no crescimento e na produtividade das culturas (Nascimento *et al.*, 2009). É o elemento central na clorofila; essencial para os cloroplastos, que são organelas que contém os tilacóides, que são compartimentos que contém Mg e onde a energia solar é convertida em energia química por meio da fotossíntese (Silva Júnior, 2015). Segundo Taiz (2017) as reações químicas em que a água é oxidada a oxigênio, o NADP⁺ é reduzido a NADPH e o ATP é formado são conhecidas como tilacóide. Toda a clorofila está contida nesse sistema de membranas, que é o local das reações luminosas da fotossíntese, atuando como cofator e ativador de enzimas envolvidas na fixação do CO₂ (Silva Júnior, 2015). De acordo com Epstein e Bloom (2006) ele é um importante cofator para muitas reações bioquímicas, por sua habilidade de servir como ponte para grupos de nitrogênio e fósforo.

O magnésio desempenha várias funções importantes na planta como integrante da unidade de porfirina da molécula de clorofila e estabilizador da estrutura dos ribossomos (Paulilo *et al.*, 2015). Segundo Epstein e Bloom (2006), o magnésio ativa mais enzimas que qualquer outro nutriente mineral. Entre essas ativações de enzima, as mais importantes são aquelas envolvidas na transferência de energia via adenosina trifosfato (ATP). Como as enzimas da fotossíntese ribulosebifosfato e a fosfoenolpiruvato carboxilase, e liga as moléculas de ATP aos sítios ativos das enzimas (Paulilo *et al.*, 2015). O nutriente também atua em atividades como, auxílio no metabolismo do nitrogênio, absorção de fósforo, carregamento do floema, separação e utilização de fotoassimilados, além de contribuir com o desenvolvimento do sistema radicular (Chen; Peng, 2018).

O magnésio pode ser absorvido pelas plantas de duas maneiras, sendo a mais comum em sua forma iônica (Mg⁺²), que ocorre pelo contato direto entre o sistema

radicular e a solução no solo; outra via de absorção é a foliar, que se processa por meio de pulverizações na forma de sulfato de magnésio. Contudo é importante destacar que a absorção do Mg está diretamente ligada à presença de outros cátions como Ca^{+2} , H^{+} e Al^{+3} (Hawkesford *et al.*, 2012). Mecanismos de absorção e transporte, como canais iônicos específicos e proteínas transportadoras, desempenham um papel crucial na regulação do status de magnésio nas células vegetais. Esses processos são fundamentais para a síntese de clorofila, ativação de enzimas e regulação do metabolismo energético (Gomes *et al.*, 2011). O Mg possui papel fundamental no transporte de carboidratos, principalmente sacarose, em diversas espécies. O acúmulo de carboidratos nas folhas parece ser um dos primeiros sintomas da deficiência de Mg (Riga; Anza, 2003; Silva *et al.*, 2014).

3.4. Deficiência de Magnésio na Cultura do Milho

Os sintomas de deficiência são manifestações exteriores de eventos bioquímicos que ocorrem em nível molecular e celular nos tecidos vegetais (Silva *et al.*, 2009). O crescimento e a produtividade das culturas são altamente afetados pela deficiência de Mg em áreas de produção agrícola intensiva (Römheld; Kirby, 2007). Quando um nutriente está em deficiência, esse desequilíbrio pode ser percebido por meio dos sintomas visuais, caracterizados como alterações foliares na coloração, no tamanho e outras (Ramos *et al.*, 2006).

Os sintomas de falta de magnésio, por causa de sua alta mobilidade na planta, aparecem geralmente nas folhas mais velhas, onde a clorose é o primeiro sintoma evidente: elas apresentam cor verde clara. Com o agravamento da deficiência, aparecem manchas amareladas que podem se unir formando faixas ao longo das margens da folha, que se tornam avermelhada, ocorrendo assim a necrose. Os frutos produzidos em condições de deficiência de magnésio são geralmente menores que os normais (Sengik, 2003). Plantas deficientes de magnésio, aumenta-se a translocação do mesmo de folhas maduras para folhas novas, externalizando a ocorrência predominante da deficiência do mesmo em folhas maduras, indicando incremento na ocorrência da degradação de proteína (Carneiro, 2019).

O milho é particularmente sensível à disponibilidade de magnésio, e a deficiência desse nutriente pode impactar negativamente o rendimento da cultura (Souza *et al.*, 2013). Para Silva (2011), a deficiência de magnésio nas plantas de milho

reduz o diâmetro do colmo da planta, altura da planta, número total de folhas, massa seca da parte aérea e da raiz. Em condições de deficiência de Mg, o crescimento radicular das plantas é afetado pela redução na translocação de carboidratos para a raiz e, por sua vez, a sua deficiência prejudica a absorção de outros nutrientes (Wiend, 2007). Uma resposta frequente à deficiência de Mg nos vegetais consiste na redução das concentrações de clorofila nas folhas, levando à perda da coloração verde e a seu consequente amarelamento, podendo levar a uma redução da capacidade de produção de fotoassimilados, resultando em baixas produtividades (Tränkner *et al.*, 2016). A falta deste nutriente na planta ocasiona vários problemas, sendo um deles a inibição da fixação de CO², ou seja, sem a fixação de CO² as reações enzimáticas são reduzidas ou até mesmo inibidas, algumas destas sendo a reação de fosforilação que é responsável pela regeneração do açúcar (ribulose difosfato) que aceita o CO² fixado pela fotossíntese e ativação da própria enzima. Isso desencadeia um processo de estresse para a planta, afetando a síntese de proteínas e ativação de aminoácidos (Fernandes *et al.*, 2018). Esse processo afeta o crescimento, desenvolvimento da planta e o processo de enchimento dos grãos, que dependem de carboidratos gerados pela fotossíntese.

3.5. Interação do Magnésio com Outros Nutrientes

O magnésio (Mg) é um macronutriente essencial que desempenha papéis fundamentais na fisiologia das plantas, além de interagir diretamente com outros nutrientes importantes para o seu crescimento e desenvolvimento. Essas interações são cruciais para o equilíbrio nutricional, uma vez que o magnésio influencia e é influenciado por nutrientes como potássio, cálcio, fósforo e nitrogênio.

A relação Ca:Mg na nutrição vegetal está relacionada às propriedades químicas análogas destes elementos, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes (Salvador *et al.*, 2011). A interação desses macronutrientes no sistema solo-planta é medida pela absorção da planta. Nesse caso, o método mais utilizado é a verificação dos teores foliares na planta (Salvador *et al.*, 2011). De acordo com Luciano Junior (2018) como consequência, a presença em excesso de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro, ocorrendo assim o antagonismo entre os elementos. O cálcio apresenta maior preferência em relação ao

magnésio no complexo de troca do solo, por possuir maior raio iônico (Luciano Junior, 2018). Outro elemento na qual o magnésio possui relação antagônica é o Potássio. Outro fator limitante para a absorção do íon Mg^{+2} são altos níveis de potássio (K^+), pela semelhança entre os raios iônicos e a eletroafinidade das membranas celulares ao potássio em detrimento do magnésio (Canizella, 2014). Na relação Mg/K, quando aumenta-se a disponibilidade ou fornecimento do K no meio, ocorrerá a inibição da absorção e acumulação do Mg pelas plantas e vice-versa (Cao *et al.*, 1992).

Por outro lado, a relação entre Mg:P possui um significado diferente, pois uma das principais funções do magnésio nas plantas é atuar como ativador de enzimas. Quase todas as enzimas fosforilativas, tanto de incorporação como transferência do P inorgânico, dependem da presença de Mg, que é capaz de formar uma ponte entre o ATP e/ou ADP e a molécula da enzima. Essa transferência de energia é fundamental para os processos de fotossíntese, respiração, reações de síntese de compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico, como a expansão radicular (Malavolta, 2006; Marschner, 2012; Prado, 2008). Dessa forma, ocorre um sinergismo entre P e Mg, ou seja, a absorção de P é máxima quando na presença de Mg na solução do solo, por se tratar de um carregador de P, como resultado da participação do Mg na ativação de ATPases da membrana responsáveis pela absorção iônica (Malavolta, 2006). O nitrogênio (N) também é outro importante nutriente que pode inibir ou promover a absorção e acúmulo do Mg em plantas, sendo tal fator controlado pela fonte de N utilizada. Com a utilização de amônio (NH_4^+) pode ocorrer redução ou até supressão da absorção de Mg pelas plantas, conforme observado na série de interação do nutriente com outros cátions presentes no solo. Já no caso da utilização de fontes nítricas (NO_3^-), ocorre o incremento na absorção do Mg (Lasa *et al.*, 2000).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto do Trópico Subúmido (ITS), localizado no Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em Goiânia, Goiás (Latitude: 16°35'12" S, Longitude: 49°21'14" W, Altitude: 730 m). De acordo com a classificação climática de Köppen (1931), a região apresenta clima do tipo Aw, caracterizado por ser quente e úmido, com uma estação seca prolongada e precipitação anual média de 1600 mm.

A cultivar de milho utilizada foi a XB 8018, e o solo empregado na Segunda Fase foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, conforme descrito pela Santos (2018). Os tratamentos foram definidos pelas seguintes concentrações de sulfato de magnésio ($MgSO_4$):

- T0 (testemunha): 0 ppm de magnésio
- T50: 50 ppm de magnésio
- T100: 100 ppm de magnésio
- T200: 200 ppm de magnésio
- T300: 300 ppm de magnésio

As soluções foram preparadas por meio de cálculos de diluição para garantir a precisão das concentrações aplicadas. Cada tratamento foi conduzido com cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais, sendo que o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizados conforme apresentado na figura 1.

Figura 1 Disposição das unidades experimentais do experimento para comparar o efeito das diferentes concentrações de magnésio sobre o crescimento inicial do milho (*Zea mays L.*) cultivar XB 8018 aos 7 dias.



O experimento foi realizado em duas fases:

4.1. Primeira Fase: Germinação

Na fase inicial, correspondente ao estágio de germinação, foram utilizados potes plásticos de 300 mL com tampa, pipetas, papel filtro quantitativo e um béquer. Cada recipiente recebeu 10 sementes de milho da cultivar XB 8018.

As sementes foram distribuídas nos recipientes junto com papel filtro quantitativo, e as respectivas doses de $MgSO_4$ foram adicionadas conforme os tratamentos. Posteriormente, os recipientes foram tampados e permaneceram fechados por 7 dias, sob condições controladas de laboratório.

Ao término do período de germinação, foram coletados dados relativos à altura das plântulas e ao comprimento das raízes, utilizando-se uma régua milimétrica. Para a análise dos resultados, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) por meio do software Excel, considerando um nível de significância de 5%.

4.2. Segunda Fase: Vegetativa, estágio V4

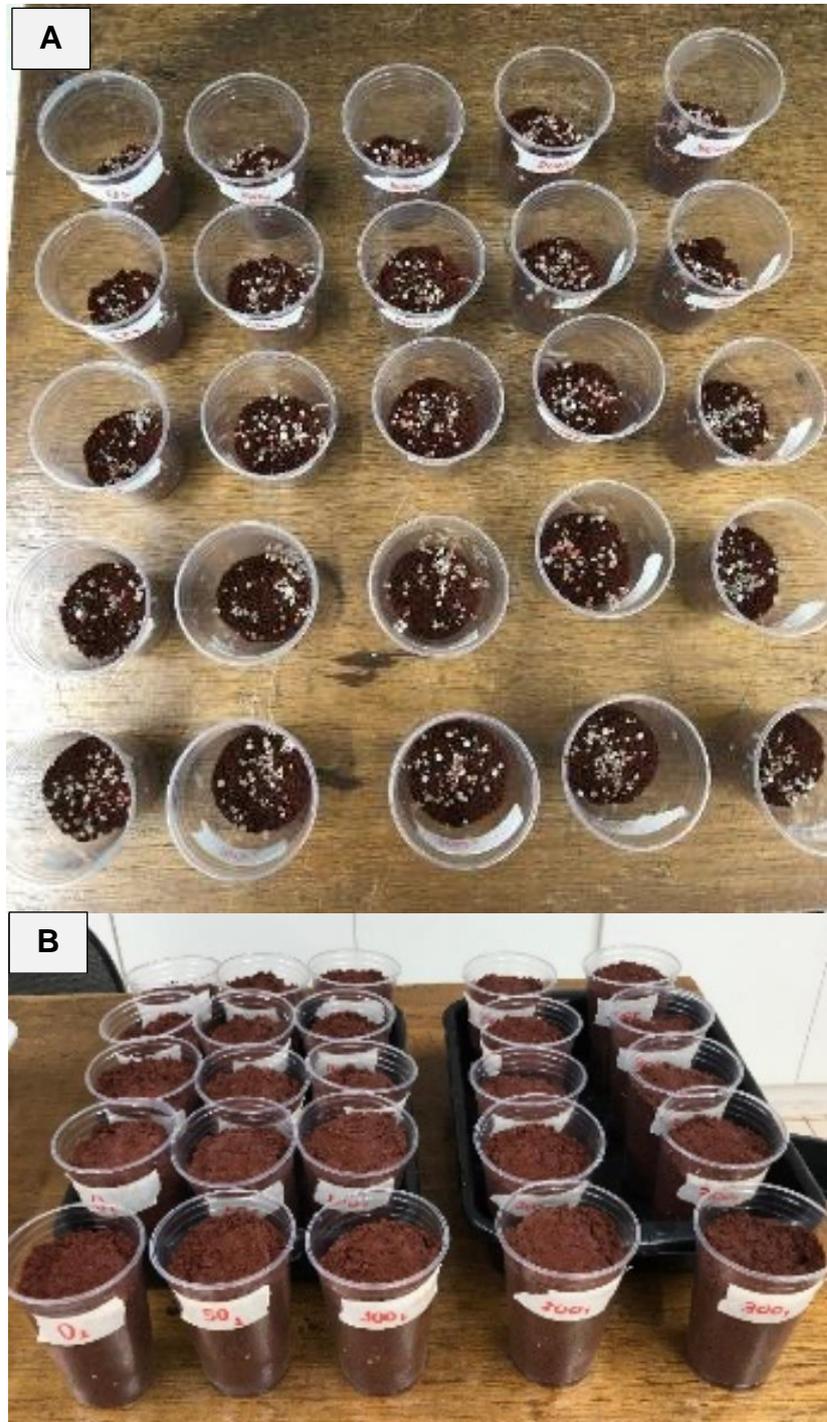
A segunda fase do experimento foi conduzida inicialmente sob condições controladas de laboratório e, posteriormente, transferida para condições naturais de campo. Cada tratamento foi conduzido em copos plásticos de 300 mL, seguindo o delineamento experimental de blocos casualizados.

Os recipientes foram preenchidos até a metade com solo e adubados com 1,5 mg de fertilizante 04-30-10 (4% N, 30% P e 10% K) (Figura 2.A). Em seguida, o solo foi completado até a borda do recipiente, e cinco sementes de milho foram semeadas em cada repetição (Figura 2.B).

Durante os primeiros sete dias, os tratamentos permaneceram em condições laboratoriais sob iluminação por luzes de LED, com irrigações realizadas a cada dois dias, utilizando 50 mL de água por repetição. A aplicação das respectivas concentrações de magnésio (0;50;100;200 e 300 ppm de magnésio) foi realizada no sexto dia após o plantio utilizando-se solução de sulfato de magnésio em diferentes concentrações. Após sete dias, as plantas foram transferidas para um ambiente natural, onde permaneceram por mais 13 dias. Durante esses 13 dias, a irrigação das plantas foi ajustada com base no volume de chuva registrado no

período.

Figura 2 - Preparo e adubação de solo em recipiente para plantio. Recipientes preenchidos até a metade com solo e adubos (A). Recipientes completamente preenchidos (B).



As análises das variáveis agronômicas foram realizadas no vigésimo dia, quando o milho se encontrava no estádio V4. Primeiramente foi realizado um desbaste, deixando assim apenas duas plantas por tratamento para em seguida realizar as análises.

As variáveis avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, biomassa acumulada (matéria fresca) e matéria seca. As medições de altura e diâmetro foram realizadas com fita métrica milimétrica, paquímetro convencional e balança digital, já para a realização da matéria seca, utilizou-se uma estufa de secagem a 70°C na qual a planta ficou armazenada até peso constante (72 horas a 70°C) e em seguida realizou-se suas respectivas pesagens. Para a análise dos dados, foi utilizada a análise de variância (ANOVA), por meio do software Excel, considerando um nível de significância de 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

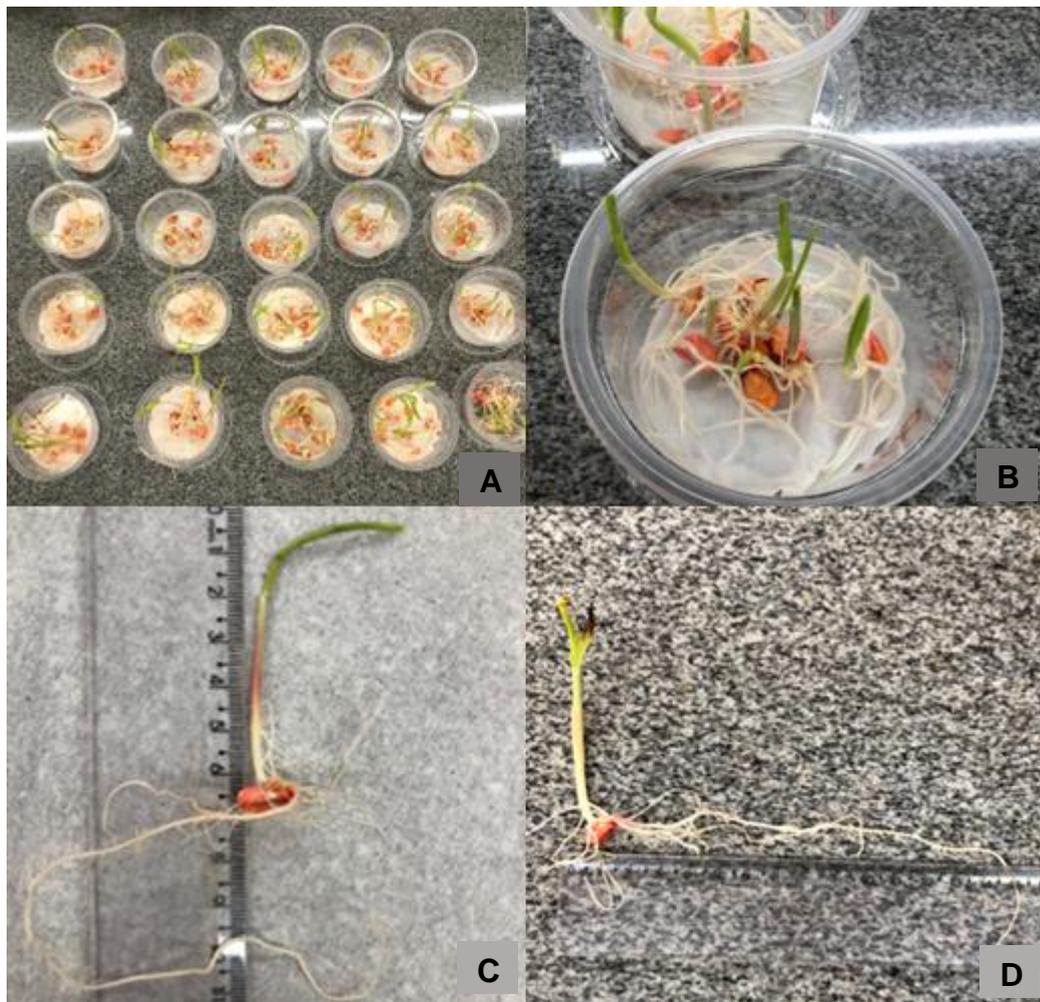
O aspecto geral das unidades experimentais e das plantas de milho recebendo diferentes concentrações de magnésio no primeiro experimento podem ser observadas na figura 3. Visualmente as plantas não apresentaram diferenças que pudessem ser detectadas em relação ao desenvolvimento nas diferentes concentrações de magnésio. Não foi verificada nenhuma deformação no aspecto morfológico, nem na parte aérea e também nas raízes.

Os resultados indicaram que após sete dias do início da germinação não houve diferenças significativas do ponto de vista estatístico pelo teste F (ANOVA) entre os tratamentos (valor-P (0,28)) (tabela 1). As respectivas alturas para os tratamentos de 0; 50; 100; 200 e 300 ppm foram: 8,48 cm; 12,02 cm; 7,60 cm; 11,14 cm e 9,55 cm (figura 4)

Muito embora exista diferenças numéricas entre os tratamentos, a análise estatística demonstrou que a variação dos valores entre os tratamentos não permite apontar que sejam realmente distintos. A altura é um parâmetro importante de crescimento e que reflete o aumento no número de células e a expansão celular no eixo principal da planta. Segundo Hopkins e Huner (2009) o crescimento e desenvolvimento de uma planta é direcionado por diversos fatores internos e externos que influenciam a forma como uma planta vai crescer e se desenvolver como

hormônios, luz, nutrientes minerais, temperatura, interação com insetos e doenças, gravidade, entre outros fatores.

Figura 3 - Disposição das unidades experimentais do experimento e aspecto geral das plantas em diferentes concentrações de magnésio sobre o crescimento inicial do milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018 aos 7 dias.



Ainda na figura 4 pode ser observado adicionalmente que os valores do comprimento do sistema radicular entre os diferentes tratamentos foram respectivamente: 6,31 cm; 8,11 cm; 6,48 cm; 7,02 cm; 6,29 cm para as concentrações de 0; 50; 100; 200 e 300 ppm. Entre os tratamentos não houve diferenças estatísticas pelo teste F (ANOVA) ao nível de 5% de significância, muito embora tenha existido diferenças numéricas.

Figura 4 - Média de altura e comprimento de raiz de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 7 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais.

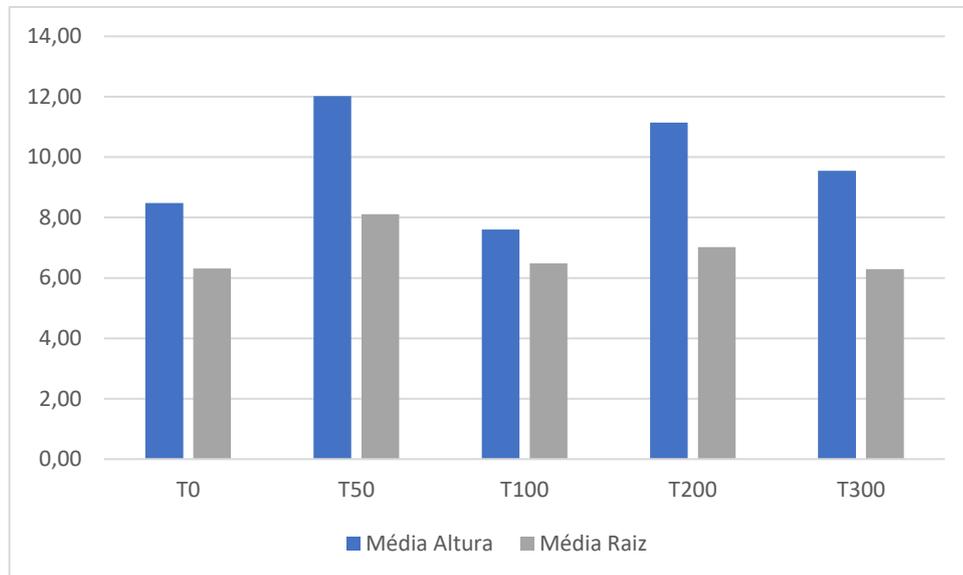


Tabela 1 - Teste de F de altura de planta e comprimento de raiz de milho (*Zea mays*) no estágio VE.

Tratamento	Altura de planta (cm)	Comprimento de raiz (cm)
T0: 0 mL de solução de magnésio	8,48	6,31
T50: 50 mL de solução de magnésio	12,02	8,11
T100: 100 mL de solução de magnésio	7,60	6,48
T200: 200 mL de solução de magnésio	11,14	7,02
T300: 300 mL de solução de magnésio	9,55	6,29
F	1,38	1,39

As diferentes concentrações de magnésio aplicadas nos tratamentos não causaram nenhum efeito aditivo no crescimento inicial das plântulas de milho aos 7 dias de crescimento, muito embora o magnésio seja um elemento essencial. Segundo Epstein e Bloom (2006) o magnésio é um dos componentes da clorofila e serve também como cofator na ativação de várias enzimas fosforilativas participando de ponte entre o ATP, sem o qual não há metabolismo energético. Kerbauy (2019) afirma que a germinação e o crescimento inicial é um período de intensa atividade metabólica na planta jovem, envolvendo a síntese de ATP e de proteínas, na qual o magnésio participa ativamente da estabilidade do ribossomo durante a síntese proteica.

Como não houve em nenhum dos tratamentos valores significativos seja em altura ou no comprimento da raiz, inclusive em comparação com a testemunha que não recebeu nenhuma concentração de magnésio, acredita-se que não houve nesta fase de crescimento e desenvolvimento a necessidade de magnésio externo para a germinação e crescimento inicial.

Na figura 5 pode ser observado o aspecto geral das plantas no segundo experimento no qual as plantas receberam diferentes concentrações de magnésio e permaneceram em crescimento durante 20 dias em condições experimentais.

Figura 5 - Experimento para verificar o efeito de diferentes concentrações de magnésio em plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo durante 20 dias em condições experimentais. Em A as plantas são apresentadas no início do experimento antes de receber as concentrações de magnésio e em B as plantas em crescimento nas condições do laboratório.



Na segunda fase do experimento, que se estendeu até o estágio V4, a análise de variância não apresentou significância estatística, indicando a ausência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos cinco tratamentos avaliados de forma individual em relação às variáveis comprimento de raiz, altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, biomassa acumulada e matéria seca (tabela 2). Os valores de -P foram: comprimento de raiz (valor-P = 0,46), altura da planta (valor-P = 0,24), diâmetro do caule (valor-P = 0,66), biomassa acumulada (valor-P = 0,79), número de folhas (valor-P = 0,15) e matéria seca (valor-P = 0,72). Como todos os valores de -P são superiores ao nível de significância de 0,05, concluiu-se que não há evidências estatisticamente significativas para rejeitar a hipótese nula.

Tabela 2 - Teste de F de comprimento de raiz, altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, biomassa acumulada e matéria seca de milho (*Zea mays*) no estágio V4.

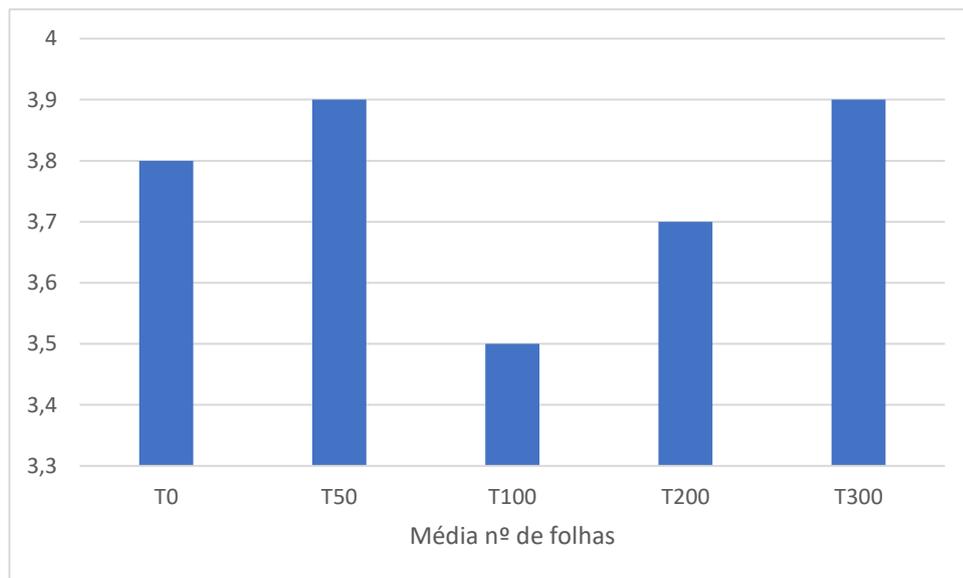
Tratamento	AP (cm)	CR (cm)	DC (mm)	BA (g)	NF	MS (g)
T0: 0 mL de solução de magnésio	25,49	25,5	5,4	8,6	3,80	1,17
T50: 50 mL de solução de magnésio	23,90	25,1	5,5	8,9	3,90	1,07
T100: 100 mL de solução de magnésio	24,35	25,0	5,3	9,2	3,50	1,16
T200: 200 mL de solução de magnésio	22,70	22,6	5,3	9,3	3,70	1,15
T300: 300 mL de solução de magnésio	24,42	22,3	5,7	9,5	3,90	1,11
F	1,47	0,93	0,60	0,41	1,86	0,51

AP – Altura de planta (cm); CR – Comprimento de raiz (cm); DC – Diâmetro do caule (mm); BA – Biomassa acumulada (g); NF – Número de folhas; MS – Matéria seca (g)

O número médio de folhas das plantas de milho nos diferentes tratamentos variou entre três e quatro folhas (figura 6), não havendo diferença estatística entre esses valores. Não foi observado nenhum sintoma de deficiência entre os tratamentos e nem de toxicidade que poderia ter sido causada pelo excesso de magnésio, uma vez que um dos tratamentos recebeu uma concentração de 300 ppm.

Segundo Prado (2020) o magnésio se destaca pela sua participação na constituição da molécula de clorofila, presente no centro da molécula, onde os sintomas de deficiência devido a sua mobilidade ocorrem nas folhas mais velhas com a clorose internerval típica.

Figura 6 - Média do número de folhas em plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 20 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais.

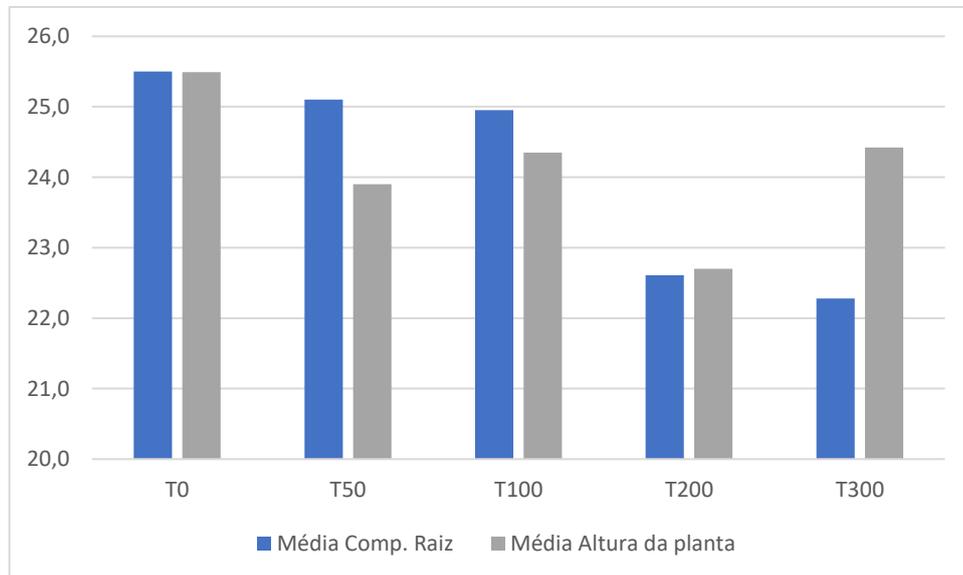


Na figura pode ser observada a média de altura das plantas de milho aos 20 dias e também a média do comprimento das raízes nos diferentes tratamentos. Para as concentrações de 0; 50; 100; 200 e 300 ppm, os resultados da altura foram respectivamente: 25,49 cm; 23,90 cm; 24,35 cm; 22,70 cm; 24,42 cm. Não foram observadas diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância pelo teste F (ANOVA).

Os resultados obtidos para a altura e comprimento do milho aos 20 dias de crescimento, corroboram os resultados anteriores, no qual até esta fase de crescimento e desenvolvimento, as concentrações de magnésio não tiveram nenhum efeito aditivo sobre o crescimento, inclusive comparando-se com a testemunha.

Segundo Castro *et al.* (2008) o magnésio é o quarto elemento mais absorvido pelas plantas de milho, entretanto, sua exportação é inferior ao fósforo, sendo que a importância do magnésio é semelhante ao cálcio e sua relação com o cálcio está entre três e cinco vezes com reflexos desta relação com a absorção de potássio.

Figura 7 - Média de altura e comprimento de raiz de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 20 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais.



O diâmetro do caule das plantas de milho aos 20 dias variou de 5,3 mm a 5,7 mm (figura 8), apresentando valores muito próximos entre as médias dos tratamentos. Estatisticamente não houve diferenças entre os tratamentos pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Segundo Taiz *et al.* (2017), o magnésio assim como o cálcio é um elemento estrutural muito importante e como cofator enzimático, apresentando antagonismo com outros íons que podem causar deficiência no solo, sendo importante identificar as necessidades nutricionais de uma planta.

O diâmetro da planta é um importante parâmetro de crescimento que reflete o desenvolvimento estrutural do caule, reflexo direto das condições de crescimento de desenvolvimento da planta que envolve a sua nutrição mineral. O caule pela sua função de condução e armazenamento de reservas nutricionais se mostra como uma medida essencial de crescimento, resultado da capacidade celular de multiplicação e expansão (Coll *et al.*, 2000).

Na figura 9 pode ser verificada a média da biomassa fresca das plantas de milho aos 20 dias no qual houve uma variação de 8,6 g por planta apresentada pela testemunha e de 9,5 g por planta observada no tratamento de 300 ppm de magnésio. Os valores de matéria seca (figura 9) variaram entre 1,07 g por planta e 1,15 g por planta. Ambos os parâmetros apresentados (biomassa fresca e matéria seca) não

apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos ao nível de 5% de significância

Figura 8 - Média de diâmetro do caule de plantas milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 20 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais.

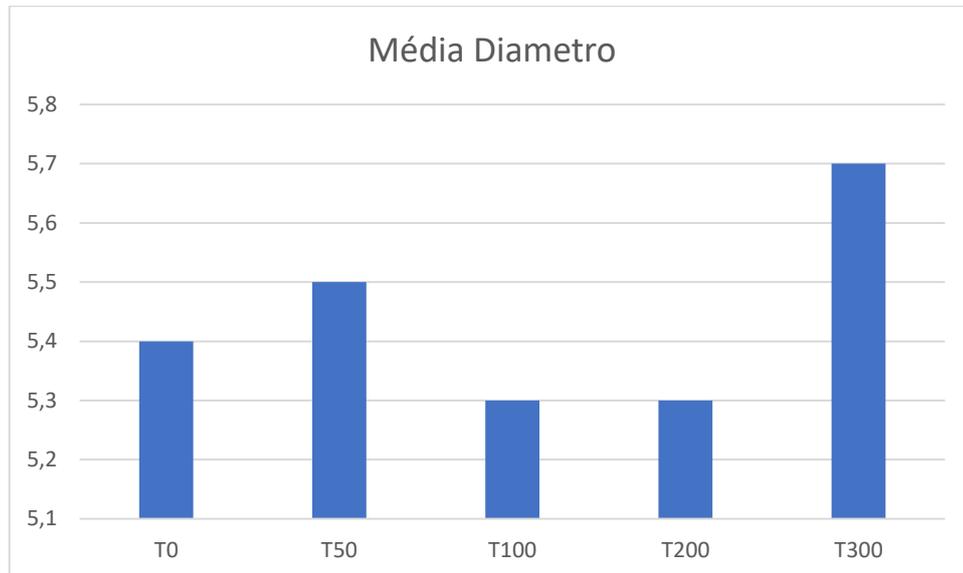
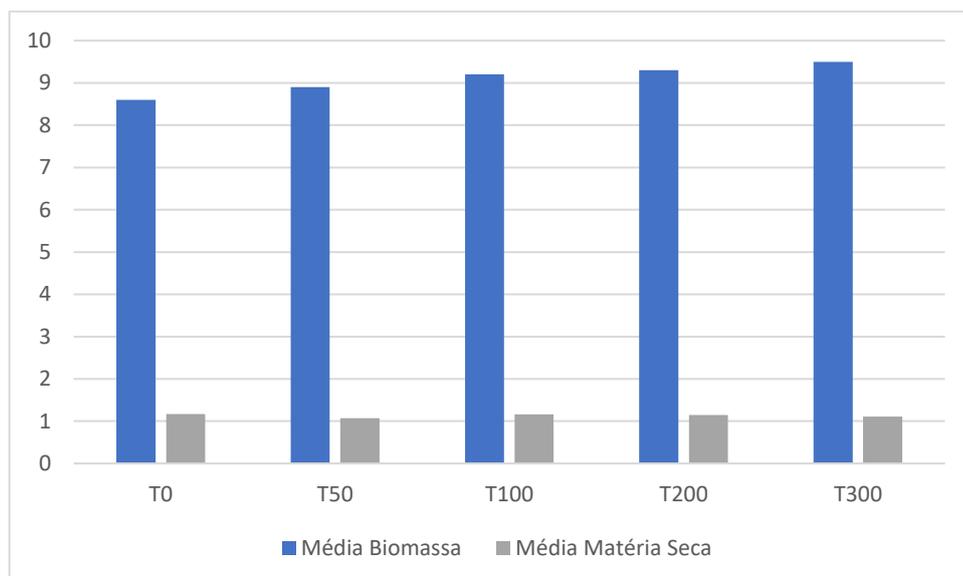


Figura 9 - Média de biomassa fresca e matéria seca de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivar XB 8018, crescendo aos 20 dias em diferentes concentrações de magnésio em condições experimentais.



Todos os parâmetros analisados neste trabalho tanto no primeiro experimento como no segundo indicaram que não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos utilizando diferentes concentrações de magnésio na fase inicial do

crescimento e desenvolvimento do milho. Segundo Prado (2020) no milho a absorção de magnésio até os 59 dias (12ª folha) é muito lenta e somente a partir deste período ocorre um acelerado pico na velocidade de absorção.

Embora seja um elemento essencial para as plantas, o conhecimento da necessidade da cultura e sua fase de aplicação é um dado importante para o manejo da adubação e correção do solo. Segundo Castro *et al.* (2008) a maior parte da semente de milho é constituída pelo endosperma que contém reservas nutritivas para o desenvolvimento do embrião e que ao germinar irá liberar esses nutrientes para o adequado crescimento e desenvolvimento da planta. Segundo Kerbauy (2019) existem nutrientes de origem orgânica nas sementes como carboidratos, lipídeos, proteínas, entre outros e também nutrientes minerais que são acumulados durante o desenvolvimento da semente.

Para Coll *et al.* (2000), o embrião ao germinar ainda não apresenta condições de extrair os nutrientes do solo e na maioria das sementes, existe reservas de nutrientes minerais acumulados que permite o seu crescimento adequado até o pleno desenvolvimento do sistema radicular.

Desta forma é possível que as plantas de milho observadas de forma experimental neste trabalho aos 20 dias, estejam utilizando as reservas do endosperma e cotilédones, incluindo o magnésio, apresentando pouca ou nenhuma necessidade externa deste nutriente mineral nesta fase de crescimento e desenvolvimento.

6. CONCLUSÃO

Os resultados advindos do presente trabalho indicaram que até os 20 dias de crescimento e desenvolvimento, as plantas de milho da cultivar XB 8018, não demonstraram sensibilidade ao magnésio aplicado em solução em suas diferentes concentrações e nem tampouco em comparação com a testemunha.

Tais resultados são importantes, tanto para corroborar a literatura como para indicar a necessidade de outros trabalhos que visem determinar a necessidade e influência do magnésio em fases mais adiantadas do crescimento e desenvolvimento do milho, o que pode vir a contribuir para o uso racional deste nutriente essencial para as diversas culturas agrônômicas.

Segundo Castro *et al.* (2008) a maior parte da semente de milho é constituída pelo endosperma que contém reservas nutritivas para o desenvolvimento do embrião e que ao germinar irá liberar esses nutrientes para o adequado crescimento e desenvolvimento da planta. Segundo Kerbauy (2019) existem nutrientes de origem orgânica nas sementes como carboidratos, lipídeos, proteínas, entre outros e também nutrientes minerais que são acumulados durante o desenvolvimento da semente. Afirmando assim, que não há necessidade de fontes externas de magnésio na fase inicial do milho.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Produção de grãos atinge recorde e tem alta de 18,4% em 2022/2023**. Disponível

em:<<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-09/producao-de-graos-atinge-recorde-e-tem-alta-de-184-em-20222023>>. Acesso em: 25 de novembro 2024.

ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. O.; LENG, E. R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371 p.

BARBANO, M. T.; DUARTE, A. P.; BRUNINI, O.; RECO, P. C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; KANTHACK, R. A. D. (2001). Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 9(2), 261-268.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A Cultura do milho**. Escola De Ciências E Tecnologia, Departamento De Fitotecnia, Universidade de Évora. 2014. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10174/10804> >. Acesso em: 25 set. 2024.

CAI, J.; CHEN, L.; QU, H.; LIAN, J.; LIU, W.; HU, Y.; XU, G. Alteration of nutrient allocation and transporter genes expression in rice under N, P, K, and Mg deficiencies. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, p. 939-946, 2012.<https://doi.org/10.1007/s11738-011-0890-x>.

CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Sweden, v. 133, n.4, p.692–704, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x>.

CALDARELLI, C. E.; BACCHI, M. R. P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. **Nova Economia**, v.22, n.1, 2012.

CANIZELLA, B. T. **Eficiência de uso de magnésio por cultivares de feijoeiro**. 2014. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014. Disponível em: <http://repositorio.uel.br/items/f9ffb2ba-130f-4a61-883c-4e278b5d7bf7/full>
Acesso em: 27 novembro. 2024.

CAO, T.; TROUGHTON, N.; SIMPSON, R. J. **The effect of potassium on magnesium uptake and accumulation in plants**. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v. 155, n. 2, p. 195-204, 1992.

CARNEIRO, L. M. S. **Fontes e doses de magnésio nas culturas da soja e milho**. 2019. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2074>.

CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; OLIVEIRA, F. A.; FIRMANO, R. F.; ZANCANARO, L.; KLEPKER, D.; FOLONI, J. S. S.; BRIGHENTI, A. M.; BENITES, V. M. **Magnésio: manejo para o equilíbrio nutricional da soja** - Portal Embrapa, 10 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125328/magnesio-manejo-para-o-equilibrio-nutricional-da-soja>>. Acesso em: 7 set. 2024.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal- Fisiologia de cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

CHEN, Z. C.; PENG, W. T.; LI, J.; LIAO, H. Functional dissection and transport mechanism of magnesium in plants. **Semin. Cell Dev. Biol.** 74, 142-152, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.08.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084952117302574?via%3DIhub> Acesso em: 25 novembro. 2024.

COLL, JUAN BARCELÓ; RODRIGO, G. NICOLÁS; GARCIA, BARTOLOMÉ SABATER; TAMÉS, RICARDO SANCHÉZ. **Fisiologia vegetal**. Madrid: Ediciones Pirámide, 2000. 566 p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da safra de grãos.2023** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 03 de outubro 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>>**. Acesso em: 19 de outubro 2024.

COSER, E. **Avaliação da incidência de pragas e moléstias na cultura do milho (Zea mays L.) crioulo e convencional no município**. 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **O magnésio na fertilidade dos solos do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/546143>>. Acesso em: 26 out. 2024.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2. ed. Trad. NUNES, M.E.T. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Universidade Federal de Lavras, 2005. Disponível em:<https://dcs.ufla.br/images/imagens_dcs/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf>. Acesso em: 7 set. 2024.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS L. A. **Nutrição mineral de plantas**. 2. Ed. Viçosa, MG: SBCS, 2018, 670 p.

FORNASIERI FILHO, D. (2007). **Manual da cultura do milho**. Funep.

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. (2017). **Milho: do plantio à colheita**. 2ª ed., Viçosa: UFV, 382p.

GOMES, M. A. et al. Efeitos da deficiência de magnésio no desenvolvimento do milho. **Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 595-601, 2011.

GRANSEE, A.; FÜHRS, H. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. **Plant and Soil**, Perth, v. 368, n. 1-2, p. 5-21, 2013.
<https://doi.org/10.1007/s11104-012-1567-y>.

GUIET-BARA, A.; DURLACH, J.; BARA, M. Magnesium ions and ionic channels: activation, inhibition or block - a hypothesis. **Magnesium Research**, Oregon, v. 20, n. 2, p. 100-106, 2007.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Chapter 6 - Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.) **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. Pergamon, UK, 2012, p.35-189. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>
Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123849052000066?via%3Dihub> Acesso em: 12 setembro. 2024.

HOPKINS, WILLIAN G.; HUNER, NORMAN P.A. **Introduction to plant physiology**. 4 ed. Ontário: Ed. Wiley, 2009. 523 p.

KÖPPEN, William. 1931. Climatologia. México, Fundo de CulturaEconômica.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019. 420 p.

KIRKBY, E. A.; MENGEL, K. The role of magnesium in plant nutrition. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, New Zealand, v. 139, n. 2, p. 209-222, 1976. <https://doi.org/10.1002/jpln.19761390208>.

LASA, B.; FRECHILLA, S.; ALEU, M.; GONZÁLEZ-MORO, B.; LAMSFUS, C.; APARICIO TEJO, P. M. Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. **Plant and Soil**, Perth, v. 225, n. 1-2, p. 167-174, 2000.

LUCIANO JUNIOR, G. S. **Influência de relações cálcio/magnésio em calcários no rendimento de massa seca de culturas em casa-de-vegetação**. UDESC - Universidade Estadual de Santa Catarina, 2018.

Disponível em: <https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1469/DISSERTAO_GILSON_15693550227427_1469.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2024.

LYNCH, J. P.; ST. CLAIR, S. B. Mineral stress : the missing link in understanding how global climate change will affect plants in real world soils. **Field Crops Research**, v. 90, p. 101-115, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.008>.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, California, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>.

MAGALHAES, P. C.; DURAES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. www.infoteca.cnptia.embrapa.br, 2002. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486995>>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MAGALHAES, P. C.; DURAES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. www.infoteca.cnptia.embrapa.br, 1995. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/475778>>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 638p, 2006.

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

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v.74, n.829, p.24-27, 2018.

MORAIS, T. P. D. (2012). 82 f. **Adubação nitrogenada e inoculação com Azospirillum brasilense em híbridos de milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia, Uberlândia.

NASCIMENTO, R.; DEUNER, S.; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G.; KERBER, R. S. **Crescimento e teores de clorofila e carotenóides em três cultivares de soja em função da adubação com magnésio**. **Revista Ceres**. Universidade Federal de Viçosa, 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226745020>>. Acesso em: 26 novembro. 2024.

NILSSON, L. G. **Magnesium in grassland production**. **Developments in Plant and Soil Sciences**, Netherlands, v. 29, n. 20-31, 1987.

OLIVEIRA, M.; LANG, G.; FERREIRA, C. **Milho . Química, tecnologia e usos**. 1o. ed. [s.l.] Edgard Blücher Ltda, 2022. p. 432.

PAPENFUSS, K. H.; EIROT, S. Bestimmende Faktoren des Mg-Haushaltes von Böden in der Bundesrepublik Deutschland. **Magnes Bull**, v. 1, p. 12-14, 1979. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-88157-1>.

PAULILO, M. T. S.; VIANA, A. M.; RANDI, Á. M. **Fisiologia Vegetal**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

PONS, A.; BRESOLIN, M. **A cultura do milho**. Trigo e Soja. Porto Alegre, n. 57, p. 6-31, 1981.

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

PRADO, RENATO DE MELLO. **Nutrição de plantas**. 2ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 2020. 414 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 2006.

RELATÓRIO AGROECONÔMICO DO CENTRO-OESTE 4o trimestre de 2022. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<https://portal.sistemafamasul.com.br/sites/default/files/boletimcasapdf/Relatorio%20Alian%C3%A7a_4_tri_22.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 317p.

RIGA P, ANZA M (2003) **Effect of magnesium deficiency on pepper growth parameters: implications for the determination of Mgcritical value**.

RÖMHELD, V.; KIRKBY, E. A. **Magnesium functions in crop nutrition and yield**. Cambridge: International Fertiliser Society, 2007. p.151-171. (International Fertiliser Society. Proceeding, n.616).

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K.; ANJOS, H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. ed. [s.l.] Brasília, DF: Embrapa., 2018. p. 356.

SENGIK, E. S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas.** Disponível em: <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>. Acessado em 26 de novembro de 2024.

SILVA JÚNIOR, A. D. **Fontes e doses de magnésio na cultura do milho.**, 2015. Disponível em: <https://www.unirv.edu.br/conteudo/dissertacoes/631994105.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2024.

SILVA, DAYANE & RODRIGUES-BRANDÃO, ISABEL & ALVES, JOSE & SANTOS, MELINE & SOUZA, KAMILA & REZENDE, HELBERT. (2014). **Physiological and biochemical impacts of magnesium-deficiency in two cultivars of coffee.** Plant and Soil. 382. 10.1007/s11104-014-2150-5.

SILVA, E. B.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; RESENDE JÚNIOR, P. S. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.44, n.4, p.392-397, 2009.

SILVA, F. F. **Sistema de visão artificial para a identificação da nutrição de milho submetido a níveis de cálcio, magnésio e enxofre.** 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga. 2011. WIEND, T. Magnésio nos solos e nas plantas. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 117, p. 19-21, 2007.

SILVA, J. D. **Doses de magnésio foliar no estímulo do crescimento de plantas de milho em campo.** 2023. 33p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual da Paraíba, Catolé do Rocha, 2023.

SILVEIRA, D. C.; BONETTI, L. P.; TRAGNAGO, J. L.; NETO, N.; MONTEIRO, V. Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência e Tecnologia**, v.1, n.1, p 01-11, 2015.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. **Acidez do solo e sua correção.** In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUZA, J. L., FRANÇA, G. E., AMARAL, L. R. DO, SILVA, E. M. DA, & LAVRES, J. (2013). **Influência da aplicação de magnésio foliar no rendimento e na qualidade do milho.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(8), 961-968. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800007>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TRÄNKNER, M.; JÁKLI, B.; TAVAKOL, E.; GEILFUS, C.-M.; ÇAKMAK, I.; DITTERT, K.; SENBAYRAM, M., 2016. Magnesium deficiency decreases biomass water-use efficiency and increases leaf water-use efficiency and oxidative stress in barley plants. **Plant Soil**, v.406, p.409-423. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2886-1>.

VAN DER POL, F.; TRAORE, B. Soil nutrient depletion by agricultural production in Southern Mali. **Fertilizer research**, Nijhoff, v. 36, n. 1, p. 79-90, 1993. <https://doi.org/10.1007/BF00749951>.

WIEND, T. Palestra: Magnésio no solo e nas plantas. Potabrasil, São Paulo, SP. **Informações Agronômicas**. nº 117, Março, 2007.

8. APÊNDICE



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
GABINETE DO REITOR

Av. Universitária, 1059 • Setor Universitário
Caixa Postal 86 • CEP 74605-010
Goiânia • Goiás • Brasil
Fone: (62) 3946.1000
www.pucgoias.edu.br • reitoria@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

A estudante **Ana Júlia Ribeiro Alves** do Curso de Agronomia, matrícula 2022.2.0129.0004-7, telefone: (62) 98452-6826, e-mail: 20222012900047@pucgo.edu.br, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **“Avaliação do desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays* L.) em diferentes concentrações de magnésio.”**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 12 de dezembro de 2024.

Assinatura da autora



Documento assinado digitalmente
ANA JULIA RIBEIRO ALVES
Data: 17/12/2024 11:51:58-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ana Júlia Ribeiro Alves

Assinatura do professor-orientador:

Dr. Jales Teixeira Chaves Filho