

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS**

**EFEITO DE DOSES DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO NO DESENVOLVIMENTO  
INICIAL DO MILHO**

**Diego Bispo Corcinio Oliveira**

**São Cristóvão - SE  
2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS- CCAA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA - DEA**

**Efeito de doses de calcário dolomítico no  
desenvolvimento inicial do milho**

Monografia apresentada ao departamento de Engenharia agrônômica - Universidade Federal De Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro agrônomo.

---

Profª. Dra. Aline de Almeida Vasconcelos  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Marcos Cabral De  
Vasconcellos Barretto  
(Banca examinadora)

---

Prof. Dr. Dennis Crystian Silva  
(Banca Examinadora)

## DEDICATÓRIA

*Aos que sempre estiveram ao meu lado, minha base e minha inspiração. Ao meu pai, **José Everaldo**, pelo exemplo de força, humildade e valores que carrego comigo. À minha mãe, **Clesia**, pelo amor incondicional, pelo apoio em cada passo e por acreditar em mim. Ao meu irmão, **Danilo**, pelo companheirismo e a toda família. À minha querida avó, **Vera**, por todo o carinho, e incentivo ao longo da minha caminhada. E em memória dos meus avôs, que deixaram um legado de ensinamentos que sigo levando comigo. Este trabalho é uma conquista que também pertence a vocês. Com todo o meu carinho e gratidão.*

## AGRADECIMENTOS

Com diria George Washington: “*Nenhum dever é mais urgente do que o da gratidão*”, com isso inicio os agradecimentos a todos que ajudaram de alguma forma nessa caminhada árdua e enriquecedora que é a jornada acadêmica.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força e pelas bênçãos ao longo desta caminhada. Aos meus pais, por todo o amor, apoio e compreensão, e por sempre acreditarem no meu potencial, mesmo nos momentos de incerteza. Agradeço aos meus familiares, em especial ao meu irmão Danilo, meu tio Nininho, minha avó Vera, e amigos, por estarem ao meu lado em cada etapa, me incentivando e apoiando, mesmo nas ausências e renúncias.

Expresso minha profunda gratidão à Dra. Aline Almeida Vasconcelos, pela dedicação, paciência e conhecimento compartilhado. Suas orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu desenvolvimento enquanto pessoa. Agradeço também aos professores e colegas de curso, cujas contribuições enriqueceram minha formação acadêmica e pessoal.

Um agradecimento especial aos bons amigos que fizeram parte dessa jornada na faculdade: Geninho e Jardel, sempre presentes nos desafios e conquistas dentro e fora da faculdade. Também sou grato a Felipe (Fofinho), Ryan Eduardo, Domingos, Pinheiro, Maurício, Gabriel Rosário, Henrique, Felipe, Maurício pelo companheirismo e ajuda dentro desse trabalho. Com um carinho especial, agradeço a Jeovana, que foi de suma importância para no resultado do trabalho como um todo, além disso às meninas Camila, Tainara, Maria Eduarda, Maria Gabriela que teve um papel fundamental na realização deste trabalho, com sua ajuda e dedicação. Sou grato a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, ajudando-me a superar desafios e a evoluir ao longo do caminho.

Por fim, expresso minha gratidão a mim mesmo pela consistência e resiliência que mantenho ao longo dos planejamentos e metas que sempre tracei para minha vida. Celebro minhas conquistas como troféus e as guardo com orgulho na galeria das minhas memórias. Como um grande entusiasta da história da Roma Antiga, me permito adotar as palavras de Júlio César: *Veni, Vidi, Vici* (vim, vi, venci).

“A fertilidade do solo é o alicerce de uma agricultura próspera; sem ela, não há produtividade que se sustente.”

Justus von Liebig

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 MAGNÉSIO .....</b>	<b>10</b>
2.1 Função do Magnésio na Planta .....	10
2.2 Absorção .....	11
2.3 Resposta de Produtividade .....	13
2.4 Desenvolvimento em Plantas Supridas com Magnésio .....	13
2.5 Forma absorvida de magnésio.....	14
<b>3 FORMAS DE APLICAÇÃO E FONTES DE MAGNÉSIO .....</b>	<b>14</b>
<b>4 CALCÁRIO: FONTE DE Mg, DINÂMICA NO SOLO COMO FONTE DE Mg, SOLUBILIDADE .....</b>	<b>15</b>
4.1 Reações, Dissolução do Calcário, Neutralização do $Al^{3+}$ , Efeitos no Solo .....	16
4.2 Liberação de Magnésio .....	17
<b>5 RIZOSFERA, INTERAÇÃO DAS RAÍZES COM O SOLO .....</b>	<b>17</b>
<b>6 METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
7.1 Solo Argiloso .....	21
7.2 Solo Arenoso .....	22
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>9 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. média dos resultados obtidos em termos de valores de pH, H+Al, Ca e Mg no solo arenoso e argiloso .....	20
---	----

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Média da Clorofila a (SPAD) em folhas de milho no estágio fenológico V5 em função de doses crescentes de calcário em um solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tuckey a 5% .....	22
---	----

Figura 2. Média do diâmetro (cm) do colmo do milho no estágio fenológico V5 em função de doses crescentes de calcário em um solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tuckey a 5% .....	23
---	----

Figura 3. Média de altura (metros) da planta de milho no estágio fenológico V5 em função de doses crescentes de calcário em um solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tuckey a 5% .....	23
--	----

## RESUMO

O magnésio ( $Mg^{2+}$ ) é um nutriente essencial para as plantas, com papel fundamental em processos fisiológicos como fotossíntese, síntese de ATP, ativação enzimática e translocação de fotoassimilados. Em razão da acidez natural e da baixa disponibilidade de magnésio nos solos tropicais, especialmente nos arenosos, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de magnésio usando o calcário como fonte no desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.) até o estágio fenológico Vt, cultivado em dois tipos de solo: argiloso e arenoso. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco doses de calcário dolomítico (0, 1, 2,5, 5 e 10 t/ha), utilizando calcário dolomítico como fonte. As variáveis analisadas foram altura de planta, diâmetro do colmo e teores de clorofila (a, b e total) em três estádios fenológicos (V5, V7 e VT). Os resultados indicaram resposta das plantas em solo arenoso, com significância estatística para altura e diâmetro no estágio V5, enquanto no solo argiloso o único parâmetro significativamente afetado foi a clorofila a. Constatou-se que o fornecimento de magnésio promove o desenvolvimento inicial do milho, sobretudo em ambientes com baixa capacidade de retenção de cátions, sendo o solo arenoso mais responsivo à aplicação do nutriente. A aplicação de calcário dolomítico, além de contribuir com o magnésio, também favorece a correção da acidez, melhorando a disponibilidade de outros nutrientes essenciais, mas a aplicação crescente não demonstrou nenhum resultado no desenvolvimento do milho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Milho, magnésio, solo arenoso, solo argiloso, clorofila, crescimento vegetal, calcário dolomítico.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays L.*) é uma das mais importantes da agricultura mundial, devido ao seu alto rendimento e diversidade de utilização que abrange desde a alimentação humana e animal até a produção de biocombustíveis. No Brasil, o milho possui uma posição de destaque no agronegócio, é o segundo grão mais produzido no Brasil, tendo expressividade em praticamente todas as regiões. Por ser o segundo grão mais produzido, há um aumento contínuo na busca da alta produtividade por meio de soluções que viabilizem a cultura ano a ano.

A presença de nutrientes em quantidades balanceadas no solo é de extrema importância para que a planta tenha o seu desenvolvimento e possa ter altos rendimentos. O magnésio possui grande relevância e ainda é bem negligenciado quanto ao seu fornecimento apesar de ser elemento importante na fotossíntese, por ser constituinte da parte central da clorofila, participa da síntese de proteínas e na ativação de enzimas,

Apesar da importância do magnésio e das especificidades dos solos brasileiros, especialmente os ácidos, que são naturalmente pobres nesse nutriente, há poucos estudos que avaliem a aplicação de fontes externas para seu fornecimento e correção do solo, evidenciando uma lacuna no manejo adequado desse nutriente essencial.

No Brasil, a principal fonte utilizada para o fornecimento de magnésio é o calcário dolomítico, que apresenta teores mais elevados de magnésio em comparação ao calcário calcítico, além disso essa prática é recomendada comumente para a correção da acidez do solo. O processo associado ao calcário é a calagem, feita no solo, distribuído manualmente ou mecanicamente. Desse modo, além de corrigir a acidez, o calcário dolomítico pode ser uma alternativa interessante para que possa fazer o suprimento de magnésio na cultura do milho.

O uso do calcário como fonte de magnésio no cultivo de milho ainda gera questionamentos sobre os métodos que ainda são utilizados para calcular a distribuição no solo. Destacando a dinâmica de liberação do magnésio, o tipo de solo, a granulometria do calcário e as condições climáticas, todos esses fatores podem influenciar sua disponibilidade para as plantas.

O presente trabalho busca explorar a viabilidade e analisar o comportamento da planta a partir da aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico em dois tipos de solos diferentes na cultura do milho, avaliando os efeitos no desenvolvimento das plantas.

Em suma síntese, a introdução de novas doses no manejo que envolve o uso de calcário como fonte de magnésio representa uma oportunidade para novos métodos de trabalho, a fim de melhorar a produção e disponibilizar a fonte de maneira mais eficaz. O

trabalho contribui para uma melhor compreensão das interações entre solo, nutrientes e plantas, fornecendo informações relevantes para agricultores, pesquisadores e demais profissionais do setor agrícola.

## **2. MAGNÉSIO**

O magnésio (Mg) é um macronutriente essencial para o desenvolvimento de qualquer cultura, porém ainda bastante negligenciado de maneira geral no âmbito agrícola. Esse elemento desempenha um papel fundamental em diversos processos fisiológicos, destacando-se a fotossíntese, processo essencial no qual a planta converte energia luminosa em energia química, armazenada em moléculas orgânicas que sustentam seu crescimento e metabolismo. Como resultado, a falta de magnésio prejudica diversos processos vitais nas plantas, tanto fisiológicos quanto bioquímicos, impactando negativamente seu crescimento e produção. Em muitos casos, a participação do magnésio nessas atividades metabólicas é crucial para a ativação de diversas enzimas (CAKMAK; YAZICI, 2010)

O magnésio presente na forma catiônica ( $Mg^{2+}$ ) no solo é distribuído tanto no complexo de troca de cátions quanto na solução do solo. Os principais determinantes da sua disponibilidade para as plantas incluem as quantidades totais de magnésio trocável, sua concentração em relação ao grau de saturação do complexo de troca e também em comparação com outros cátions predominantes nesse complexo.

### **2.1 FUNÇÃO DO MAGNÉSIO NA PLANTA**

São muitas as funções do magnésio nas plantas que vão desde componentes estruturais a ativador enzimático. O magnésio ( $Mg^{2+}$ ) é um nutriente essencial para as plantas e apresenta alta mobilidade tanto no xilema quanto no floema. Após ser absorvido pelas raízes na forma de  $Mg^{2+}$ , é transportado pelo xilema para a parte aérea da planta, acompanhando o fluxo de água e nutrientes. Além disso, o magnésio é altamente móvel no floema, permitindo sua redistribuição das folhas maduras para as regiões em crescimento, como folhas jovens, frutos e sementes. Essa mobilidade no floema é fundamental para a remobilização do magnésio, especialmente em condições de sua deficiência no solo (PRADO, 2021).

O magnésio é um elemento presente na molécula de clorofila e participa de processos como a fosforilação, translocação de fotoassimilados e ativação de várias enzimas, como a glutatona sintetase e a fosfoenolpiruvato (PEP) carboxilase (ALTARUGIO, et al., 2017).

Sem magnésio suficiente, a capacidade da planta de realizar a fotossíntese é diminuída, afetando sua produção de energia e, conseqüentemente, seu crescimento. Além disso, na ativação enzimática, o magnésio atua como cofator para várias enzimas envolvidas em processos metabólicos importantes, como a síntese de ATP (adenosina trifosfato), que é essencial para fornecer energia às células vegetais. Tais funções mostram que o magnésio é indispensável tanto para a fotossíntese quanto para o metabolismo energético, atuando na estabilização de estruturas celulares e na ativação de reações bioquímicas fundamentais (Ahmed et al., 2023). Portanto, o magnésio desempenha um papel na estabilidade das membranas celulares e na regulação do transporte de íons através delas (MARSCHNER, 2012).

O magnésio ( $Mg^{2+}$ ) contribui de forma decisiva para o equilíbrio nutricional das plantas ao favorecer a absorção e o transporte de outros nutrientes importantes, como o fósforo (P) e o potássio ( $K^+$ ). Sua atuação na regulação dos gradientes eletroquímicos e na estabilidade das membranas celulares cria condições ideais para que esses elementos sejam melhor assimilados e distribuídos pela planta. Quando há deficiência de magnésio, esse equilíbrio se rompe, dificultando a nutrição adequada e comprometendo processos fisiológicos essenciais para o crescimento vegetal (AHMED et al., 2023)

A aplicação adequada de magnésio (Mg) é essencial para o crescimento saudável e a produtividade das plantas. Em um estudo conduzido por Moreira et al. (2020), a aplicação foliar de Mg aumentou significativamente o índice SPAD na soja (*Glycine max*) e o teor foliar de Mg no milho (*Zea mays*). Doses de 540 e 890 g ha<sup>-1</sup> proporcionaram incrementos de 325 e 737 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade da soja e do milho, respectivamente, independentemente do estágio fenológico. Além disso, a aplicação foliar de Mg no estágio reprodutivo aumentou em 2% a massa de 100 grãos de ambas as culturas, demonstrando a importância desse nutriente na formação e enchimento de grãos (MOREIRA et al., 2020).

Complementando essa abordagem nutricional, estudos também indicam que o fornecimento de magnésio via calagem pode promover efeitos residuais significativos sobre a fertilidade do solo e o desempenho das culturas. Em experimentos conduzidos com milho cultivado em Latossolo Vermelho, observou-se que a aplicação de calcário elevou os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  no solo, refletindo em ganhos consistentes de produtividade. Esses efeitos foram ainda mais evidentes em sistemas de plantio direto, evidenciando que a calagem

adequada não apenas corrige a acidez, mas também favorece um ambiente propício ao aproveitamento dos nutrientes ao longo do tempo (MIRANDA et al., 2007).

## 2.2 ABSORÇÃO

O magnésio presente no solo na forma catiônica  $Mg^{2+}$  é absorvido pelas raízes das plantas (MATIELLO et al, 2018). O magnésio ( $Mg^{2+}$ ) é absorvido pelas raízes principalmente por transporte passivo, sem gasto direto de energia, através de canais iônicos nas membranas celulares, por difusão facilitada ao longo do gradiente eletroquímico. Após sua entrada, é conduzido pelo xilema para as partes aéreas da planta, como caule, folhas e frutos, integrando-se ao fluxo de água e nutrientes minerais (HAWKESFORD et al., 2012) No entanto, quando a concentração de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) no solo está muito baixa, as plantas podem recorrer a mecanismos de transporte ativo, utilizando energia metabólica para absorver o nutriente de forma eficiente. Com isso, essa estratégia envolve proteínas transportadoras que atuam contra o gradiente eletroquímico, garantindo a captação de magnésio mesmo em condições limitantes de disponibilidade no solo (EPSTEIN e BLOOM, 2005).

O magnésio pode apresentar tanto sinergia quanto antagonismo com outros elementos no solo e na planta. Em termos de sinergia, o magnésio atua de forma complementar com o cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e o potássio ( $K^+$ ), favorecendo a absorção e o transporte desses nutrientes nas plantas. A presença equilibrada de cálcio, por exemplo, pode melhorar a absorção de magnésio (WHITE; BROADLEY, 2003). Por outro lado, em relação ao antagonismo, a absorção de magnésio pode ser prejudicada pelo excesso de cátions como cálcio, potássio e amônio ( $NH_4^+$ ), devido à competição pelos mesmos canais de transporte nas raízes. Além disso, a alta concentração de alumínio ( $Al^{3+}$ ) em solos ácidos pode reduzir a disponibilidade de magnésio, afetando negativamente sua absorção (GRANSEE; FÜHRS, 2013)

A absorção do magnésio é distribuída pelos diferentes tecidos e células da planta, desempenhando suas diversas funções fisiológicas. Portanto, em situações de baixa disponibilidade no solo ou de alta exigência metabólica, a planta utiliza a alta mobilidade do magnésio no floema como mecanismo compensatório (WHITE; BROADLEY, 2003). Esse nutriente pode ser remobilizado das folhas mais velhas para os tecidos em desenvolvimento, como brotações, flores e sementes, assegurando o suprimento necessário às regiões de maior atividade metabólica (CAKMAK; YAZICI, 2010). Essa redistribuição interna é uma

característica fundamental do magnésio e explica por que os sintomas de deficiência se manifestam primeiramente nas folhas mais velhas (MARSCHNER, 2012).

### **2.3 INTERFERÊNCIA NUTRICIONAL NO SISTEMA RADICULAR E PRODUÇÃO**

É importante salientar que a inibição do crescimento de raízes pode ser vista antes mesmo de outras partes visíveis da planta, em função da falta do magnésio (CAKMAK; YAZICI, 2010). Dessa forma, na cultura do milho quando as raízes estão expostas a condições ambientais desfavoráveis, como períodos prolongados de seca, podem comprometer a capacidade da planta de absorver água e nutrientes, prejudicando seu crescimento (GALVÃO; BORÉM; PIMENTEL, 2017). Conseqüentemente, ao afetar o sistema radicular todas as outras partes serão afetadas, ocasionando diminuição da produção pela planta.

### **2.4 DESENVOLVIMENTO EM PLANTAS SUPRIDAS COM MAGNÉSIO**

A falta de magnésio nas plantas leva a uma distribuição desigual dos carboidratos, prejudicando a relação parte aérea/raiz. Em estudos com feijoeiro, observou-se que plantas com deficiência desse nutriente apresentaram um crescimento radicular significativamente reduzido antes mesmo do surgimento de sintomas visíveis de clorose. Com isso, apenas uma pequena fração dos carboidratos totais foi alocada para as raízes, enquanto em plantas bem nutridas com magnésio, essa distribuição foi consideravelmente maior (CAKMAK et al., 1994a). Esse efeito compromete o desenvolvimento do sistema radicular, impactando a absorção de água e nutrientes essenciais.

Além disso, a deficiência de magnésio pode reduzir a eficiência fotossintética das plantas. Estudos realizados com beterraba açucareira demonstraram que a baixa disponibilidade desse nutriente compromete a fixação de CO<sub>2</sub>, reduz a concentração de clorofila e prejudica o transporte de elétrons no processo fotossintético (HERMANS et al., 2004). Sendo assim, esse efeito também está associado ao acúmulo excessivo de sacarose nas folhas maduras, dificultando sua translocação para órgãos de crescimento, como raízes e sementes, reforçando a importância do suprimento adequado de magnésio para a manutenção do metabolismo energético das plantas (CAKMAK et al., 1994b).

Diante disso, a suplementação de magnésio por meio de fontes como calcário dolomítico, sulfato de magnésio e fertilizantes foliares é essencial para garantir o crescimento

equilibrado das plantas, promovendo um sistema radicular mais desenvolvido e aumentando a eficiência na absorção de nutrientes (CAKMAK; YAZICI, 2010).

## **2.5 FORMA ABSORVIDA DO MAGNÉSIO**

O magnésio é encontrado em formas mais facilmente móveis no citoplasma, ligando-se a ânions orgânicos e inorgânicos, como malato e citrato. Também pode formar complexos menos móveis, associados a ânions como oxalato e pectato, que ficam retidos em compartimentos celulares ou na parede celular, dificultando sua redistribuição (FAQUIN, 2005). A absorção do magnésio pelas raízes ocorre, em sua maioria, por meio do mecanismo de fluxo de massa, na forma de  $Mg^{2+}$ . Esse processo está diretamente relacionado ao movimento da água no solo em direção às raízes, sendo impulsionado pelo gradiente de potencial total no sistema de transporte de água e nutrientes (RUIZ; MIRANDA; CONCEIÇÃO, 1999). A presença do magnésio pode ser observada em diferentes partes da planta, como raízes, extremidades dos brotos e sementes (HERMANS et al., 2005).

## **3. FORMAS DE APLICAÇÃO E FONTES DE MAGNÉSIO**

A planta necessita de nutrientes para desenvolvimento e crescimento, obtendo-os do ar, da água e do solo. Com isso, a correção do solo e adubação é importante estratégia para fornecimento de nutrientes obtidos via solo para as plantas. (MALAVOLTA, 2008).

Existem diversas formas de fornecer magnésio às plantas, visando suprir suas necessidades nutricionais. Uma opção é o uso de fertilizantes solúveis em água, como sulfato de magnésio (18% de MgO) e nitrato de magnésio (14 a 16% de MgO) (MARTINS, 2015), que são dissolvidos e aplicados diretamente ao solo, proporcionando uma rápida disponibilidade para as raízes. Outra forma e a mais utilizada é pela correção do solo com calcário. Os calcários têm usualmente a classificação não oficializada pelo Ministério da Agricultura Brasileira como calcário calcítico teor de MgO menor que 5%, calcário dolomítico com teores maiores que 12% de MgO e o magnesiano que apesar do baixo teor de MgO entre 5 e 12% de MgO. A correção do solo para reposição de magnésio (Mg) e neutralização da acidez é realizada por diferentes métodos de cálculo. Um dos mais utilizados é baseado na saturação por bases, onde a necessidade de calcário (NC) é determinada por:

$$NC = [(V_2 - V_1) \times CTC] / PRNT$$

onde  $V_2$  é a saturação por bases desejada (%),  $V_1$  a atual (%), **CTC** a capacidade de troca de cátions ( $\text{cmolc/dm}^3$ ) e **PRNT** o poder relativo de neutralização total do corretivo (%). Esse é o método, proposto por QUAGGIO (2000) recomendado entre outros por SOUZA et al. (2021) e SILVA E FERREIRA (2019)

Outra abordagem considera a necessidade de neutralizar o alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e equilibrar os teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio no solo. O cálculo segue a equação:

$$\text{NC} = \text{Y} \times \text{Al}^{3+} + [\text{X} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]$$

onde **Y** varia conforme a textura do solo e **X** corresponde à quantidade de  $\text{Ca}+\text{Mg}$  (bases desejada) (COSTA et al., 2022). Esse método é útil para solos ácidos, onde o alumínio pode inibir a absorção de  $\text{Mg}$ , tornando essencial a aplicação de corretivos para garantir um ambiente químico equilibrado (Santos et al., 2018). Estudos indicam que a saturação ideal por bases entre 60% e 70% otimiza a absorção de  $\text{Mg}$ , melhorando o crescimento radicular e a produtividade de culturas como o milho (*Zea mays*) (FAGERIA, 2021; SOUZA et al., 2020).

#### **4. CALCÁRIO: FONTE DE Mg, DINÂMICA NO SOLO COMO FONTES DE Mg, SOLUBILIDADE,**

Segundo Gransee e Fühns (2013), o magnésio ( $\text{Mg}$ ) desempenha um papel essencial na mitigação dos efeitos adversos da acidez do solo, especialmente ao melhorar a disponibilidade de nutrientes e favorecer o crescimento radicular das plantas. No entanto, a correção da acidez em si é realizada por meio da calagem, que é a principal ferramenta agronômica de curto prazo para esse fim. De acordo com Natale et al. (2007), a aplicação de calcário, além de fornecer cálcio ( $\text{Ca}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}$ ), eleva o pH do solo, aumenta a soma de bases e a saturação por bases, além de reduzir os teores de alumínio trocável até a capacidade de incorporação. Essas mudanças promovem um ambiente químico mais equilibrado, melhorando a fertilidade do solo e favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Os desafios decorrentes da acidez do solo são frequentemente solucionados através da aplicação de calcário. Essa prática ajuda a mitigar ou eliminar os efeitos prejudiciais do alumínio e do manganês, enquanto incrementa a disponibilidade de nutrientes como nitrogênio ( $\text{N}$ ), fósforo ( $\text{P}$ ), cálcio ( $\text{Ca}$ ), magnésio ( $\text{Mg}$ ), enxofre ( $\text{S}$ ) e molibdênio ( $\text{Mo}$ ) no solo. Além disso, promove um aumento na atividade microbiana do solo (CAIRES; JORIS, 2016).

Em condições de acidez, o calcário promove a neutralização do  $\text{Al}^{3+}$ , a elevação do pH e o fornecimento de Ca e Mg, possibilitando a proliferação de raízes, com reflexos positivos no crescimento da parte aérea das plantas. Contudo, devido à baixa solubilidade e à lenta movimentação do calcário ao longo do perfil do solo, há obrigatoriedade de se fazer distribuição uniforme e incorporação profunda, antecedendo a implantação do pomar (QUAGGIO, 2000).

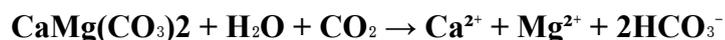
Devido ao fato de o magnésio não ser comumente empregado diretamente em adubações, mas sim no processo de calagem, há uma escassez de dados sobre as respostas das culturas à sua aplicação (FAQUIN, 2005).

#### **4.1 REAÇÕES, Neutralização do $\text{Al}^+$ , Efeitos no solo**

Devido à sua composição granulométrica mais fina, o calcário bem moído apresenta maior capacidade de reação no solo, resultando em uma velocidade de neutralização da acidez mais elevada em comparação a corretivos com partículas mais grossas ou menor reatividade, como alguns silicatos ou escórias siderúrgicas (CAIRES; JORIS, 2016).

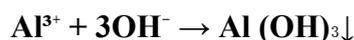
O calcário agrícola, composto principalmente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), reage com o solo em processos químicos que neutralizam a acidez e liberam cátions essenciais como cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) (NOVAIS; SMYTH, 1999; CAIRES; ALLEONI, 2000).

O calcário, ao entrar em contato com a solução do solo, dissolve-se e libera íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), cálcio e magnésio, conforme a seguinte reação:



A eficiência desse processo depende da granulometria do calcário, pois partículas menores possuem maior superfície de contato, acelerando a dissolução (QUAGGIO, 2000; KAMPRATH, 1984).

A neutralização do alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) no solo ocorre por meio da aplicação de corretivos como o calcário, que reagem quimicamente com os íons de hidrogênio e reduzem a toxicidade do alumínio. Esse processo é fundamental para a melhoria da fertilidade do solo, promovendo um ambiente mais favorável ao crescimento das plantas (NATÁLE et al., 2007; GRANSEE; FÜHRS, 2013). A reação química principal pode ser representada da seguinte forma:



Nessa reação, o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) reage com os íons  $\text{H}^+$  do solo, liberando  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). A elevação do pH resultante promove a formação de hidróxido de alumínio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), que precipita e se torna indisponível para as plantas, reduzindo a toxicidade do alumínio no solo. Esse mecanismo melhora a absorção de nutrientes essenciais e favorece o desenvolvimento radicular, proporcionando melhores condições para o crescimento das culturas agrícolas, assim como recomendado por (SOUZA et al., 2021; COSTA et al., 2022)

A reação do calcário também resulta na liberação de cátions como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que ocupam os sítios de troca no complexo de troca catiônica (CTC), substituindo cátions como  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ . Isso não apenas corrige a acidez, mas também melhora a fertilidade do solo, disponibilizando nutrientes essenciais às plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999; QUAGGIO, 2000).

#### 4.2 LIBERAÇÃO DE MAGNÉSIO

Uma liberação efetiva do magnésio necessita da água para fazer a dissolução e dissocia o carbonato de cálcio ou magnésio no solo (NOLLA; ANGHINONE, 2003). Os produtos da dissolução do calcário reagem com os colóides do solo e, nessa reação, elevam o pH, os teores de Ca e Mg e a saturação por bases, e diminuem o Al e o Mn trocáveis no solo.

Devido à limitada solubilidade dos carbonatos ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ), é aconselhável distribuir o calcário de maneira uniforme por toda a superfície do solo e garantir a sua incorporação íntima às partículas do solo. Esse processo amplia a área de contato entre o calcário e o solo, maximizando sua capacidade de neutralização (CAIRES; JORIS, 2016).

O aumento na concentração de Ca e Mg da solução do solo, acidez potencial, pH e dose e umidade e textura do solo são fatores importantes no equilíbrio iônico da reação de troca (WARFVINGE & SVERDRUP, 1989; GARCEZ et al. 2023)

## **5. RIZOSFERA, INTERAÇÃO DAS RAÍZES COM O SOLO E MECANISMOS DE MODIFICAÇÃO DO AMBIENTE**

A rizosfera é a zona do solo que circunda as raízes das plantas, sendo o local onde ocorrem intensas interações biológicas, físicas e químicas. Essa região é fundamental para a nutrição das plantas, pois nela se concentram os processos de absorção de nutrientes, trocas gasosas e a interação com organismos do solo, como microrganismos e micorrizas. O ambiente rizosférico é altamente dinâmico, influenciado pela atividade radicular, pelos exsudatos das raízes e pela microbiota associada (BARDGETT; VAN DER PUTTEN, 2014).

A atividade das raízes modifica a química do solo, principalmente por meio da liberação de exsudatos que alteram o pH local e aumentam a disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio (MENGEL; KIRKBY, 2001). Além disso, a rizosfera constitui um ambiente favorável à presença de uma diversidade de microrganismos, os quais desempenham papéis fundamentais na solubilização de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio e decomposição da matéria orgânica, processos essenciais para a saúde do solo e crescimento das plantas (SMITH; READ, 2008).

É importante ressaltar que o Mg está menos fortemente retido pelas cargas do solo quando comparado ao Ca devido ao maior raio iônico hidratado, resultando em concentrações mais altas de Mg na solução do solo em comparação com outros cátions. Essa dinâmica afeta a mobilidade do Mg no solo, tendo implicações significativas para a nutrição das plantas em relação a esse elemento (GRANSEE; FÜRHS, 2012).

Além disso, as raízes das plantas liberam exsudatos que influenciam a disponibilidade de nutrientes. Esses exsudatos podem complexar cátions, alterar o pH local e, conseqüentemente, modificar o equilíbrio químico do solo, promovendo a solubilização de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio (MARSCHNER, 2012).

As plantas têm a capacidade de modificar a rizosfera por meio de processos como a excreção de ácidos orgânicos, mudanças no pH e liberação de enzimas específicas. A excreção de ácidos orgânicos, como citrato e malato, pode aumentar a solubilidade de elementos essenciais, como fósforo e ferro, que frequentemente estão indisponíveis em solos ácidos ou calcários (RÜMPEL et al., 2009).

A interação da rizosfera com o solo não só facilita a absorção de nutrientes essenciais como também influencia a eficiência no uso desses elementos pelas plantas. A dinâmica de

cátions como cálcio, magnésio e potássio é afetada pela competição entre eles nos sítios de absorção radicular. Por exemplo, o excesso de potássio pode reduzir a absorção de cálcio e magnésio devido à competição direta nos transportadores radiculares (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Além disso, a microbiota presente na rizosfera desempenha um papel fundamental, promovendo a mineralização de matéria orgânica e aumentando a disponibilidade de nutrientes através de processos biológicos, como a fixação de nitrogênio e a solubilização de fósforo (SMITH; READ, 2008).

## **6. METODOLOGIA**

O experimento foi conduzido em condições controladas em casa de vegetação na Universidade Federal De Sergipe - UFS, localizada no município de São Cristóvão. As coordenadas geográficas do local experimental são 10°55 '45.7 "S 37°06' 12.7"W.

Foram conduzidos dois experimentos utilizando solos com texturas distintas, por conta da capacidade de retenção específica que cada solo possui. O primeiro solo, denominado como argiloso, apresentou 54,30% de areia, 3,45% de silte e 42,25% de argila. O segundo, denominado solo franco arenoso, apresentou 50,97% de areia, 13,55% de silte e 35,48% de argila, foram incubados com doses crescentes de calcário (24,29% de CaO, 15,79% de MgO e PRNT DE 75%. ) nas doses 0, 1, 2,5, 5 e 10 t/ha Em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições.

Cada unidade experimental consistiu de um vaso com 20 dm<sup>3</sup> de solo, foram utilizadas cinco sementes do híbrido P3707VYH com posterior desbaste para garantia de plantas de mesmo tamanho. Cada experimento teve um total de 20 unidades experimentais. O solo arenoso tem textura franco arenosa e de classificação Neossolo Quartzarênico e foi coletado no campus rural da Universidade Federal de Sergipe localizado no município de São Cristóvão) e o solo argiloso de textura argilosa e classificado como Latossolo foi coletado no município de Nossa Senhora Das Dores - SE.

Cada solo foi peneirado e incubado com as respectivas doses de calcário, por três meses e mantido úmido visualmente devido a dificuldade operacional quanto à pesagem de vasos. O plantio foi realizado em 13/01/2025. A adubação para plantio foi a recomendada de acordo com a necessidade da cultura. Foi utilizado 120 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 94 kg/ha de K<sub>2</sub>O, 24 kg/ha de N via fontes formulado NPK 8-40-8 em fundação e KCl e superfície , 6 kg/ha de enxofre

além de micronutrientes, 1,80 kg/ha de boro, 0,75 kg/ha de cobre, 9 kg/ha de manganês, 8,25 kg/ha de zinco via fonte BR7.

Nas plantas foram avaliadas a altura da planta, em centímetros e posteriormente convertida para metros, o diâmetro do caule em milímetros, o número de folhas e os teores de clorofila **a** e **b** nos estádios vegetativos V4, V7 e VT. A medição da clorofila foi realizada utilizando-se um clorofilômetro portátil, do tipo SPAD (Soil Plant Analysis Development), que estima de forma indireta os teores de clorofila nas folhas por meio da absorvância da luz em dois comprimentos de onda, fornecendo valores relativos (unidades SPAD) correlacionados com a concentração de clorofila. As leituras foram feitas sempre na folha completamente expandida, no terço médio, evitando as nervuras principais.

As análises estatísticas foram feitas com auxílio software “RStudio” (R Core Team, 2021). Os dados da avaliação vegetal foram submetidos à análise de variância, sendo observados os pressupostos de homogeneidade e normalidade, pelos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk. Quando constatada a significância, foi realizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, através do pacote ExpDes.pt (Ferreira, Cavalcanti e Nogueira, 2021).

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distribuição dos dados foi normal e o efeito do magnésio via doses calcário no desenvolvimento das plantas demonstrou respostas variáveis em cada tipo de solo.

**Tabela 1** - Média dos resultados obtidos para valores de pH, H+Al, Ca e Mg no solo arenoso e argiloso

Dose (t/ha)	Ph H <sub>2</sub> O	H+Al ------(cmolc/dm <sup>3</sup> )-----	Ca	Mg
Arenoso				
0.0	4.49	7.89	0.88	0.72
1.0	5.21	5.94	2.01	1.26
2.5	5.28	5.08	2.62	1.84
5.0	5.83	4.18	4.24	2.38
10.0	6.6	2.72	4.83	2.83
Argiloso				
0.0	5.04	4.84	2.49	1.12
1.0	5.38	3.84	4.36	1.47
2.5	5.76	3.01	4.69	1.94
5.0	5.94	2.61	4.16	1.55
10.0	5.74	2.95	4.65	2.55

Fonte: Autoria própria, 2025

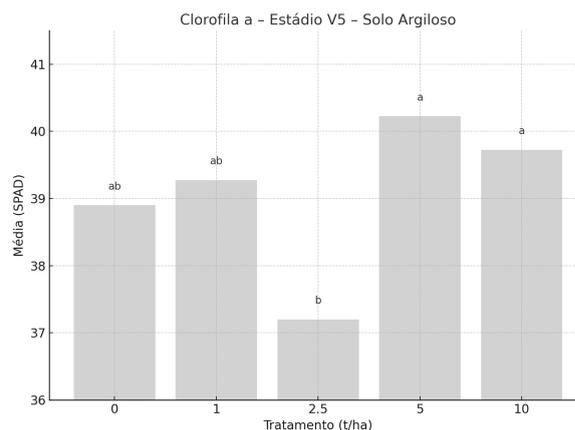
## 7.1 SOLO ARGILOSO

A aplicação de calcário dolomítico não influenciou significativamente os teores de clorofila a nas folhas do milho no estágio V5 (Figura 1), fase crítica para o estabelecimento da cultura, conforme análise pelo teste de Tukey. As doses de 5 e 10 toneladas por hectare de calcário dolomítico apresentaram valores médios de 40,2 e 39,7, respectivamente, sendo ligeiramente superiores às observadas nas doses de 2,5 t/ha (37,2), 1 t/ha (39,2) e 0 t/ha (38,9), com variações de 3,4%, 5,3% e 8,1%, respectivamente. No entanto, as comparações realizadas pelo teste de Tukey indicaram que essas diferenças não foram estatisticamente significativas.

O magnésio, presente no calcário dolomítico, é um componente central da clorofila e, portanto, sua disponibilidade no solo impacta diretamente a síntese desse pigmento. Além disso, o cálcio contribui para a estabilidade das membranas celulares e para o funcionamento adequado dos cloroplastos, favorecendo a fotossíntese (MENGEL & KIRKBY, 2001). A elevação do pH do solo promovida pela calagem também melhora a disponibilidade de outros nutrientes essenciais, reduzindo a toxicidade do alumínio e favorecendo a absorção de nitrogênio, um elemento-chave na síntese de proteínas e no metabolismo da clorofila (RAIJ, 2011).

É importante destacar que o Argissolo utilizado neste experimento já apresentava teores iniciais elevados de magnésio (Tabela 1). Essa maior disponibilidade contribui para uma curva de resposta menos acentuada à aplicação do calcário dolomítico, uma vez que parte da demanda nutricional da planta já estava suprida. Mesmo assim, os resultados evidenciam que doses mais altas foram benéficas para a eficiência fotossintética, especialmente no estágio inicial V5 (Figura 1).

Nos estádios V7 e Vt, as doses de calcário não influenciaram nas variáveis altura, clorofila a, clorofila b, clorofila a-b, razão clorofila a/b nos estádios fenológicos V7 e Vt. A interação do magnésio com a matriz argilosa do solo reduz sua disponibilidade para as plantas, devido à maior retenção do cátion nas cargas negativas das partículas de argila, conforme relatado por Fageria et al. (2009)

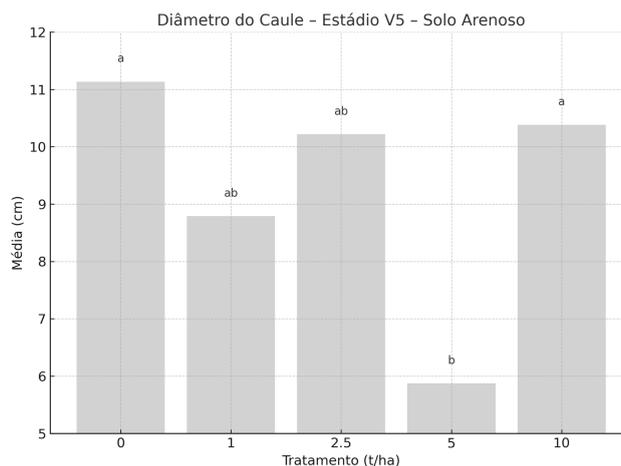


**Figura 1** - Média da Clorofila a (SPAD) em folhas de milho no estágio fenológico V5 em função de doses crescentes de calcário em um solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

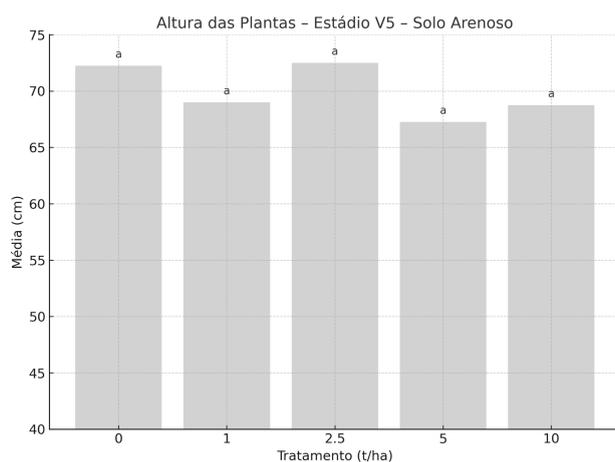
## 7.2 SOLO ARENOSO

O solo arenoso não apresentou diferenças estatísticas significativas em resposta à aplicação de magnésio no teste de clorofila a, mesmo no estágio V5, onde visualmente se observaram aumentos no diâmetro do caule e na altura das plantas (Figura 2). Embora os tratamentos com 2,5 t/ha e 10 t/ha de calcário dolomítico tenham apresentado maiores médias, essas variações não foram estatisticamente distintas do controle. Ainda assim, notou-se uma tendência de incremento no diâmetro do colmo (Figura 2) a partir da dose de 2,5 t/ha, e todas as doses com aplicação de calcário resultaram em médias de altura (Figura 3) superiores ao tratamento controle (0 t/ha), sugerindo um possível efeito benéfico do suprimento de cálcio e magnésio sobre o crescimento inicial da cultura.

Nos estádios subsequentes (V7 e VT), não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que a absorção inicial de magnésio foi suficiente para suprir a exigência da cultura nessas fases. Esse comportamento está relacionado à eficiência do sistema radicular do milho na absorção e redistribuição do nutriente ao longo do ciclo. Estudos indicam que a suplementação de magnésio favorece o desenvolvimento da arquitetura vegetal e melhora os processos fotossintéticos, contribuindo para a manutenção do crescimento mesmo após a fase inicial de aplicação do nutriente (Altarugio et al., 2017).



**Figura 2** - Média do diâmetro do colmo (centímetros) do milho no estágio fenológico V5 em função de tratamentos crescentes de calcário em um solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%



**Figura 3** - Média de altura da planta de milho (metros) no estágio fenológico V5 em função de tratamentos crescentes de calcário em um solo. Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

## 8. CONCLUSÃO

De maneira geral, nas condições experimentais, doses crescentes de calcário não influenciaram o desenvolvimento de milho.

## 9. REFERÊNCIAS

AHMED, N. et al. The power of magnesium: unlocking the potential for increased yield, quality, and stress tolerance of horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1285512.

ALTARUGIO, L. M. et al. Yield performance of soybean and corn subjected to magnesium foliar spray. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 12, p. 1185–1191, 2017.

BARDGETT, R. D.; VAN DER PUTTEN, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, v. 515, p. 505–511, 2014.

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F. Acidity and aluminum toxicity as affected by lime and gypsum applications in a no-till system. *Soil Science Society of America Journal*, v. 64, n. 4, p. 1186-1197, 2000.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W. Uso de corretivos granulados na agricultura. *Informações Agronômicas*, n. 154, p. 17-21, 2016.

CAKMAK, I. et al. Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants. *Journal of Experimental Botany*, v. 45, p. 1251–1257, 1994b.

CAKMAK, I. et al. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *Journal of Experimental Botany*, v. 45, p. 1245–1250, 1994a.

CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnésio: um elemento esquecido na produção agrícola. *Informações Agronômicas*, n. 132, p. 14-16, dez. 2010.

COSTA, R. F.; OLIVEIRA, M. R.; BARROS, L. S. Impacto da calagem na absorção de magnésio por culturas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 46, n. 3, p. 578-590, 2022.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2005.

FAGERIA, N. K. et al. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 32, n. 1, p. 1044-1064, 2009.

FAGERIA, N. K. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 44, n. 2, p. 101-120, 2021.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C. M. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 32, n. 1, p. 1044-1064, 2009.

FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: UFLA/Faepe, 2005.

Ferreira, Eric Batista; Cavalcanti, Portya Piscitelli; Nogueira, Denismar Alves (2021). ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). R package version 1.2.1. <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. Milho: do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV, 2017.

GARCEZ, T. B. et al. Limestone dissolution under varying rates and soil textures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2274030>

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*, v. 368, p. 5-21, 2013.

HAYNES, R.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 51, p. 123–137, 1998.

HERMANS, C.; BOURGIS, F.; FAUCHER, M. et al. Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. *Planta*, v. 220, p. 541–549, 2005.

HERMANS, C.; JOHNSON, G. N.; STRASSER, R. J.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. *Planta*, v. 220, p. 344–355, 2004

KAMPRATH, E. J. Crop response to lime on soils in the tropics. In: ADAMS, F. (ed.). *Soil Acidity and Liming. Agronomy Monograph 12*. Madison: ASA-CSA-SSSA, 1984. p. 349-368.

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. São Paulo: IPNI, 2008.

MARSCHNER, P. (ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012.

MARTINS, A. G. Magnésio e as altas produtividades do cafeeiro. *Revista Campo e Negócios*, v. 1, p. 74, 2015.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. *Principles of Plant Nutrition*. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

MIRANDA, L. N. de; MIRANDA, J. C. C. de; VILELA, L. Efeito residual do calcário para o milho sob plantio direto e convencional em solo de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 10, p. 1331–1337, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007001000013

MOREIRA, S. G.; REIS, M. S.; SOUSA, D. M. G. Aplicação foliar de magnésio em soja e milho: efeitos na produtividade e nutrição das culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 55, p. e01673, 2020.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; CARRIJO, O. A. Correção da acidez e disponibilidade de nutrientes em função da aplicação de corretivos e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1291-1302, 2007.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; PADOVAN, M. P.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 1, p. 147-155, 2007.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. *RECEN - Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 6, n. 1, p. 97-111, 2004.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. *Fertilidade do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

QUAGGIO, J. A. *Acidez e calagem em solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2000.

QUAGGIO, J. A. Reatividade de corretivos da acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 2, p. 303-310, 2000.

ROBINSON, D.; HINSINGER, P.; NEUMANN, G. A root tale: The role of root exudates in rhizosphere interactions. *Plant, Cell & Environment*, v. 32, n. 6, p. 666–681, 2009.

RUIZ, H. A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 1015-1018, 1999.

RÜMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I.; LUGATO, E. Microbial transformation of organic matter in soils: From biochemical pathways to global patterns. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, p. 229–236, 2009.

SANTOS, J. P.; ALVES, H. T.; PEREIRA, C. A. Métodos de extração de nutrientes do solo e sua influência na recomendação de fertilização. *Ciência Rural*, v. 48, n. 5, p. 932-945, 2018.

SILVA, A. M.; FERREIRA, D. F. Cálculo da necessidade de calcário considerando parâmetros químicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 49, n. 2, p. 128-141, 2019.

SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd ed. London: Academic Press, 2008.

SOUZA, F. L.; RODRIGUES, T. A.; MELO, J. P. Efeito da saturação por bases na recomendação de calcário e crescimento vegetal. *Revista de Agricultura*, v. 96, n. 1, p. 87-102, 2021.

WARFVINGE, P.; SVERDRUP, H. Modeling Limestone Dissolution in Soils. Soil Science Society of America Journal, v. 53, n. 1, p. 44, 1989. DOI: 10.2136/sssaj1989.0361599

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. Annals of Botany, v. 92, p. 487–511, 2003.