



Universidade Federal de Sergipe
Campus do Sertão
Departamento de Engenharia Agrônômica do Sertão



GIRLANE BENTO DOS SANTOS

**BIOESTIMULANTE PARA MITIGAÇÃO DO EFEITO DA SUPERCALAGEM NO
MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso

Nossa Senhora da Glória/SE

2026

GIRLANE BENTO DOS SANTOS

**BIOESTIMULANTE PARA MITIGAÇÃO DO EFEITO DA SUPERCALAGEM NO
MILHO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Agrônômica da Universidade
Federal de Sergipe, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Agrônômica.

Orientador: Tiago Barreto Garcez

Nossa Senhora da Glória/SE

2026

GIRLANE BENTO DOS SANTOS

BIOESTIMULANTE PARA MITIGAÇÃO DO EFEITO DA SUPERCALAGEM NO MILHO

Este documento foi julgado adequado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 06/02/2026

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **TIAGO BARRETO GARCEZ**
Data: 25/02/2026 14:57:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Tiago Barreto Garcez,
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 **LUCAS RESMINI SARTOR**
Data: 25/02/2026 15:10:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Resmini Sartor,
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 **IDAMAR DA SILVA LIMA**
Data: 25/02/2026 15:22:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ms. Idamar da Silva Lima,
Universidade Federal de Sergipe

Agradecimentos

Cinco anos se passaram e, com eles, a concretização de um sonho construído com dedicação, renúncias e perseverança. Foram anos de aprendizado intenso, desafios superados e crescimento não apenas acadêmico, mas também pessoal.

Agradeço, primeiramente, a Deus, meu sustento em todos os momentos. Foi ele quem me fortaleceu nos dias difíceis, renovou minhas forças quando pensei em desistir e me conduziu até aqui. À Nossa Senhora das Graças, por sua intercessão e cuidado constante ao longo dessa caminhada.

A minha família, base de tudo o que sou. Aos meus pais, por cada esforço feito para que eu pudesse estudar, por cada palavra de incentivo e por nunca duvidarem da minha capacidade. Essa conquista não é apenas minha, é nossa. À minha mãe, Josinete, minha fonte de amor, paciência e acolhimento. Ao meu pai, Gilvan, por me ensinar, com exemplo, o valor do trabalho, da honestidade e da determinação.

Aos meus avós, que são raízes da minha história e exemplos de força, fé e simplicidade, minha eterna gratidão por todo amor, ensinamentos e apoio ao longo da minha vida. Em especial, à minha avó paterna, Maria Joselita, pelo cuidado, pelas orações e pelo amparo constante, especialmente nesta reta final.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tiago Barreto Garcez, minha sincera gratidão pela orientação, paciência, ensinamentos e, principalmente, pelos puxões de orelha que foram essenciais para meu crescimento acadêmico e profissional. Seu comprometimento e dedicação foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sem sua orientação, nada teria sido igual.

À Universidade Federal de Sergipe, Campus do Sertão, e a todos os professores do curso de Engenharia Agrônoma, que contribuíram para minha formação com conhecimento, ética e compromisso. Aos amigos que a graduação me presenteou, companheiros do dia a dia e de noites mal dormidas, obrigada pela parceria, pelas risadas e pelo apoio nos momentos mais desafiadores: Alice, Antony, Mirle, Karol, Gleice e Dalila.

À Secretaria Municipal de Agricultura (SEMAGRI), onde tive a oportunidade de realizar meu estágio, minha gratidão por terem me acolhido e aberto as portas para meu desenvolvimento profissional. Cada aprendizado adquirido nesse período contribuiu significativamente para minha formação.

Por fim, encerro este ciclo com o coração transbordando gratidão e a certeza de que cada desafio enfrentado contribuiu para a profissional e a pessoa que me tornei.

BIOESTIMULANTE PARA MITIGAÇÃO DO EFEITO DA SUPERCALAGEM NO MILHO

Resumo

A supercalagem pode elevar excessivamente o pH do solo e provocar desequilíbrios metabólicos que comprometem o crescimento inicial do milho. Com isso, objetivou-se investigar a influência de doses de calcário e da aplicação foliar de nutrientes e aminoácidos no desenvolvimento inicial do milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com esquema fatorial, com duas doses de calcário (3 e 12 t ha⁻¹) e quatro tratamentos foliares (controle, MS Cana, Kymon Plus e MS Cana + Kymon Plus), em bloco ao acaso, com três repetições. Foram avaliados índice SPAD, altura de plantas, diâmetro do colmo, número de folhas, massa seca da planta, pH do solo e condutividade elétrica do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se efeito significativo das doses de calcário sobre as variáveis de crescimento e acúmulo de biomassa, com superioridade da dose de 3 t ha⁻¹ em relação à de 12 t ha⁻¹, indicando que a elevação excessiva do pH limitou o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea do milho. As aplicações foliares não promoveram efeito significativo na reversão do estresse induzido pela supercalagem. Conclui-se que a elevação excessiva do pH do solo compromete o crescimento inicial do milho, e que, nas condições do estudo, a adubação foliar e o uso de aminoácidos não foram suficientes para mitigar os efeitos adversos da elevação do pH.

Palavras-chave: Calcário; estresse abiótico; pH; fertilizante foliar.

BIOSTIMULANT FOR MITIGATING THE EFFECT OF LIME OVER-APPLICATION IN CORN

Abstract

Over-liming can excessively raise soil pH and cause nutritional imbalances that compromise early corn growth. Thus, this study aimed to investigate the influence of lime rates and foliar application of nutrients and amino acids on early corn development. The experiment was conducted in a greenhouse using a factorial scheme with two lime rates (3 and 12 t ha⁻¹) and four foliar treatments (control, MS Cana, Kymon Plus, and MS Cana + Kymon Plus), in a randomized block design with three replicates. Evaluated variables included SPAD index, plant height, stem diameter, number of leaves, plant dry mass, soil pH, and soil electrical conductivity. Data were subjected to analysis of variance, and means were compared using the Tukey test at 5% probability. A significant effect of lime rates was observed on growth variables and biomass accumulation, with the 3 t ha⁻¹ rate outperforming the 12 t ha⁻¹ rate, indicating that excessive pH elevation limited root system and shoot development. Foliar applications did not significantly reverse the stress induced by over-liming. It is concluded that excessive soil pH elevation compromises early corn growth, and under the study conditions, foliar fertilization and amino acid use were insufficient to mitigate the adverse effects of elevated pH.

Keywords: Lime; abiotic stress; pH; foliar fertilizer.

Índice

Resumo.....	v
Abstract	vi
Lista de tabelas.....	9
Lista de siglas.....	10
1. Introdução.....	12
2. Objetivos	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3. Revisão de literatura	13
3.1 Milho	13
3.2 Acidez do Solo e Calagem	14
3.3 Fertilizante Foliar	16
3.4 Bioestimulante.....	17
4. Metodologia.....	18
4.1 Local e condições experimentais.....	18
4.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	18
4.3 Cultivar utilizada	18
4.4 Caracterização do solo, do calcário e dos fertilizantes foliares.....	19
4.5 Condução experimental.....	20
4.6 Análise estatística.....	22
5. Resultados e discussão	23
6. Conclusões.....	27
7. Referências bibliográficas.....	28

Lista de figuras

Figura 1. (A) Determinação do índice SPAD na folha de milho; (B) Material vegetal separado em folhas, colmo e pendão; (C) Secagem do material vegetal em estufa. Erro! Indicador não definido.	
Figura 2. Porcentagem de redução no crescimento do milho quando exposto a supercalagem.....	29
Figura3. pH do solo em função das doses de cálcario.....	31

Lista de tabelas

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo antes do experimento na camada de 0 a 20 cm de profundidade	Erro! Indicador não definido.
Tabela 2. Propriedades químicas e físicas do calcário utilizado no experimento.....	25
Tabela 3. Composição química Kymon Plus.....	25
Tabela 4. Composição química MS Cana.....	25
Tabela 5. Resumo da análise de variância ANOVA para índice SPAD (SPAD), altura de plantas (ALT), número de folhas (NF), massa seca de folhas (MSF), massa seca de colmo (MSC), massa seca de raízes (MSR), massa seca do pendão (MSP), diâmetro do colmo (DC), massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPA), pH do solo (pH) e condutividade elétrica (CE).....	28
Tabela 6. Médias das variáveis massa seca da raízes (MSR), massa seca do colmo (MSC), massa seca do pendão (MSP), massas seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e pH do solo (pH)	30

Lista de siglas

UFS	Universidade Federal de Sergipe
mm	Milímetro
CTC	Capacidade de troca catiônica
ha	Hectare
cm	Centímetro
g	Gramas
t	Toneladas
SE	Sergipe
pH	Potencial hidrogeniônico
P	Fósforo
K ⁺	Potássio
Ca ²⁺	Cálcio
Mg ²⁺	Magnésio
Al ³⁺	Alumínio trocável
H+Al	Acidez potencial
T	Capacidade de troca de cátions total
V%	Saturação por bases
MO	Matéria orgânica
CaO	Óxido de Cálcio
MgO	Óxido de Magnésio
PN	Poder de neutralização
PRNT	Poder relativo de neutralização total
RE	Reatividade
MAP	Fosfato monoamônico
Kcl	Cloreto de potássio
ALT	Altura de plantas
NF	Número de folhas
MSF	Massa seca das folhas
MSC	Massa seca do colmo
MSR	Massa seca das raízes
MSP	Massa seca do pendão
MST	Massa seca total

CE Condutividade elétrica
ITPS Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe

1. Introdução

A acidez do solo é uma das principais limitações à produtividade agrícola em regiões tropicais, estando associada às formas ativa, trocável e potencial, as quais afetam a disponibilidade de nutrientes e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Em condições de acidez elevada, observa-se redução na disponibilidade de nutrientes como cálcio, magnésio, fósforo e molibdênio, além do aumento da toxicidade do alumínio (Al^{3+}). A calagem é uma prática utilizada para corrigir essa condição, promovendo o aumento do pH do solo por meio da neutralização dos íons H^+ da solução e a inativação do alumínio tóxico pela precipitação do Al^{3+} , além de elevar os teores de cálcio e magnésio, criando um ambiente mais favorável ao crescimento das culturas (CANTARELLA *et al.*, 2022).

Apesar dos benefícios, o uso excessivo de calcário, descrito na literatura como supercalagem, caracteriza-se pela elevação do pH do solo acima dos níveis ideais, frequentemente ultrapassando valores superiores a 7. Nessas condições, ocorre redução da disponibilidade de micronutrientes como cobre (Cu^{2+}), zinco (Zn^{2+}), ferro (Fe^{2+}) e manganês (Mn^{2+}), em razão da formação de hidróxidos pouco solúveis, além do aumento da adsorção desses elementos aos colóides do solo. Em situações mais extremas, a supercalagem também pode reduzir a disponibilidade de macronutrientes, como o fósforo, devido à formação de fosfatos de cálcio de baixa solubilidade, e do magnésio, em função de desequilíbrios iônicos no complexo de troca (MARSCHNER, 2012; FERREIRA *et al.*, 2020; GARCEZ *et al.*, 2023). A supercalagem pode ocorrer devido à aplicação excessiva ou mal distribuída de corretivos, geralmente associada à ausência de análise de solo, interpretações equivocadas das recomendações técnicas ou uso empírico de doses fixas (PRADO *et al.*, 2013).

O milho é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, cultivado em larga escala e também em sistemas familiares. Seu alto potencial produtivo está diretamente associado ao equilíbrio nutricional, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento, quando há intensa demanda por nutrientes (DUARTE *et al.*, 2019; SILVA-JUNIOR *et al.*, 2024). Situações de estresse nutricional, como as provocadas pela supercalagem, podem reduzir o acúmulo de biomassa e interferir na fotossíntese, o que afetará todo o desenvolvimento da lavoura (MARSCHNER, 2012; TAIZ *et al.*, 2017).

A demanda nutricional do milho é elevada, principalmente entre o desenvolvimento vegetativo avançado (V6) e o florescimento (R1), quando há acúmulo intensivo de biomassa e formação dos componentes de rendimento. A deficiência de nutrientes nessa fase compromete a produtividade e a qualidade dos grãos (MARTÍNEZ-GUTIÉRREZ *et al.*, 2022).

Nesse sentido, os fertilizantes foliares surgem como uma alternativa eficaz para correção rápida de deficiências. A aplicação foliar permite a absorção direta dos nutrientes pelas folhas, contornando limitações impostas à absorção radicular e proporcionando resposta fisiológica imediata (FERREIRA *et al.*, 2020; MARTÍNEZ- GUTIÉRREZ *et al.*, 2022). Quando combinados com aminoácidos e bioestimulantes, esses produtos também podem atuar na recuperação metabólica da planta, promovendo maior tolerância ao estresse abiótico (CALVO *et al.*, 2014). Embora o uso de fertilizantes foliares já seja amplamente adotado e relatado na literatura para diversas culturas, incluindo grandes culturas como o milho, ainda existem lacunas quanto à sua eficiência na mitigação de estresses nutricionais específicos, como aqueles induzidos pela supercalagem, especialmente quando associados a aminoácidos e bioestimulantes (FERREIRA *et al.*, 2020).

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Investigar a influência de doses de calcário e da aplicação foliar de nutrientes e aminoácidos no desenvolvimento inicial do milho.

2.2 Objetivos específicos

- a) Comparar o efeito da calagem em dose recomendada e da supercalagem sobre o crescimento inicial do milho;
- b) Avaliar o potencial de produtos foliares com micronutrientes e aminoácidos na mitigação de estresse e na promoção do crescimento inicial do milho;
- c) Analisar o impacto do calcário e dos fertilizantes foliares do pH e na condutividade elétrica do solo.

3. Revisão de literatura

3.1 Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas agrícola, possuindo grande importância econômica, social e alimentar. No Brasil, destaca-se tanto pela produção em larga escala quanto pela diversidade de sistemas de cultivo, sendo cultivado em regiões com condições edafoclimáticas variadas, em sistemas intensivos e na agricultura familiar (EMBRAPA, 2022).

Trata-se de uma gramínea da família *Poaceae*, com ciclo anual e alta capacidade de adaptação, embora seu desenvolvimento e produtividade estejam fortemente relacionados à disponibilidade de nutrientes, água, luminosidade e manejo adequado do solo. O milho apresenta exigências nutricionais elevadas, destacando-se o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K), além de micronutrientes como o zinco (Zn) e o manganês (Mn) (MALAVOLTA, 2006; TAIZ *et al.*, 2017).

As plantas de milho apresentam 13 estádios distintos, durante as fases vegetativas (V) e reprodutivas (R) (MAGALHÃES; DURÃES, 2002). A fase ideal para a aplicação de nutrientes via foliar ocorre entre os estádios V4 e V7, período em que a planta apresenta maior área foliar ativa e elevada demanda metabólica, favorecendo a absorção dos nutrientes aplicados. Além disso, nessa fase, o sistema radicular ainda está em formação, o que pode limitar a absorção via solo, tornando a aplicação foliar especialmente eficiente, sobretudo para nutrientes de baixa mobilidade e bioinsumos (COELHO, 2018).

Quando definida a necessidade de aplicação de fertilizantes para a cultura do milho, torna-se fundamental o manejo adequado da adubação, aliado ao conhecimento dos padrões de absorção e acúmulo de nutrientes ao longo das diferentes fases de desenvolvimento da planta, uma vez que as exigências nutricionais variam conforme o estágio fenológico. Nesse contexto, a eficiência da absorção e da utilização dos nutrientes é influenciada, entre outros fatores, pela sua disponibilidade no solo, pelo desenvolvimento do sistema radicular e pelas condições ambientais. A deficiência de qualquer elemento essencial pode resultar em sintomas visuais, como cloroses, necroses e deformações foliares, além de comprometer processos fisiológicos, como a fotossíntese, a taxa de crescimento e, consequentemente, a produção de grãos (RAIJ *et al.*, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2017).

3.2 Acidez do Solo e Calagem

O intemperismo químico intenso promove a lixiviação de bases trocáveis como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^{+}), favorecendo o acúmulo de íons hidrogênio (H^{+}) e alumínio (Al^{3+}) na solução e no complexo de troca do solo. Além disso, a hidrólise do Al^{3+} libera H^{+} na solução do solo, contribuindo diretamente para a geração da acidez, enquanto a decomposição da matéria orgânica e os processos de nitrificação de formas amoniacais de nitrogênio também atuam como fontes adicionais de acidificação. Como resultado, a acidez é uma condição comum em solos de regiões de clima quente e úmido, como ocorre na maior parte do território brasileiro. Essa condição é desfavorável para o desenvolvimento das culturas, pois compromete a disponibilidade de nutrientes, favorece a solubilidade de elementos tóxicos como

o alumínio (Al^{3+}) e prejudica o crescimento radicular das plantas (RAIJ *et al.*, 2001; CANTARELLA *et al.*, 2022).

A acidez pode ser classificada em três formas distintas: acidez ativa, que corresponde à concentração de íons H^+ livres na solução do solo e é expressa pelo pH; acidez trocável, representada pela principalmente presença de alumínio (Al^{3+}) adsorvido aos coloides do solo; e acidez potencial (H^+Al), que abrange tanto a acidez trocável quanto a não trocável, indicando a quantidade total de acidez que pode ser liberada no ambiente (RAIJ *et al.*, 2001; SOUSA; LOBATO, 2004).

Em solos tropicais altamente intemperizados, a predominância da acidez potencial, aliada à presença de alumínio trocável, pode reduzir significativamente a eficiência da absorção de nutrientes pelas raízes, interferir na atividade microbiana e causar limitações severas ao crescimento das plantas. Por isso, o manejo da acidez, principalmente por meio da calagem, torna-se fundamental para neutralizar esses efeitos e criar um ambiente químico mais favorável ao crescimento das plantas cultivadas (NOVAIS *et al.*, 2007; CANTARELLA *et al.*, 2022).

Poucas práticas agrícolas dão retornos tão elevados como a correção da acidez do solo, no que diz respeito ao aumento da produtividade das culturas. A calagem se faz necessária para elevar o índice de saturação por bases (V%) a valores superior a 60% e para manter o pH do solo acima de 5,5, o que favorece a neutralização do alumínio trocável (Al^{3+}) e eleva a disponibilidade das bases trocáveis no solo (ALCARDE, 2005). Contudo, o uso indiscriminado ou mal planejado da calagem pode provocar efeitos adversos como redução da produtividade. Quando o pH do solo ultrapassa os níveis considerados ótimos (geralmente acima de 6,5 – 7,0), pode ocorrer a precipitação ou fixação de micronutrientes, como zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu), tornando-os menos disponíveis para as plantas (MARSCHNER, 2012). Isso pode resultar em desequilíbrios nutricionais, diminuir o crescimento das plantas e impactar na produtividade.

A reatividade do calcário no solo depende principalmente da textura, do teor de matéria orgânica e da capacidade tampão do solo. Solos argilosos, com maior capacidade de troca de cátions (CTC), apresentam maior capacidade de tamponamento, pois possuem maior quantidade de cargas negativas nos coloides, capazes de reter íons H^+ e Al^{3+} , o que dificulta a variação do pH e exige maiores quantidades de corretivo (CANTARELLA *et al.*, 2022; MARTINE *et al.*, 2013). Estudos conduzidos por Prado *et al.* (2010) demonstraram que a supercalagem em solos cultivados com cana-de-açúcar reduziu a disponibilidade de manganês e ferro, afetando negativamente o vigor das plantas. Esses efeitos são ainda mais intensos em solos arenosos ou de baixa CTC, onde o tamponamento do pH é limitado. Portanto, o uso

excessivo de corretivos sem critério técnico pode transformar um manejo benéfico em um fator de estresse nutricional para as plantas.

3.3 Fertilizante Foliar

O uso de fertilizantes foliares na cultura do milho tem sido adotado como estratégia complementar ao manejo da fertilidade do solo, especialmente em situações em que a absorção radicular é limitada por condições químicas adversas, como a elevação do pH do solo e os desequilíbrios nutricionais decorrentes da supercalagem. Nessas condições, a aplicação foliar possibilita o fornecimento direto de nutrientes às folhas, reduzindo a dependência do sistema radicular e favorecendo a manutenção do crescimento vegetal em estádios críticos de desenvolvimento (MARSCHNER, 2012; FERNÁNDEZ; BROWN, 2013; HAVLIN *et al.*, 2014).

A absorção dos nutrientes aplicados via foliar ocorre predominantemente por difusão através da cutícula e, em menor proporção, pelos estômatos, sendo influenciada pela concentração da calda, formulação do produto, idade da folha e condições ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar (FERREIRA *et al.*, 2020; FERNÁNDEZ; BROWN, 2013). Do ponto de vista fisiológico, a adubação foliar está associada ao aumento da síntese de clorofila, à maior atividade enzimática e à manutenção da taxa fotossintética, contribuindo para a redução dos efeitos de deficiências nutricionais temporárias (MARSCHNER, 2012).

Nesse contexto, fertilizantes foliares comerciais, como o MS Cana®, caracterizam-se por formulações contendo macro e micronutrientes em formas prontamente assimiláveis, sendo indicados como suplementação nutricional em fases de elevada exigência metabólica das culturas. Embora desenvolvido inicialmente para a cultura da cana-de-açúcar, MS Cana® apresenta composição nutricional que pode favorecer respostas fisiológicas semelhantes em outras gramíneas, como o milho, especialmente quanto à manutenção do metabolismo vegetal, expansão foliar e acúmulo de biomassa, quando utilizado como complemento ao manejo da adubação do solo (HAVLIN *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2020).

Quando associados a aminoácidos e bioestimulantes, os fertilizantes foliares podem potencializar esses efeitos. Calvo, Nelson e Kloepper (2014) destacam que esses compostos favorecem a eficiência metabólica das plantas, promovendo melhor assimilação de nutrientes, maior tolerância ao estresse abiótico e recuperação mais rápida do metabolismo vegetal. Em milho, tais respostas refletem em maior crescimento inicial, melhor desempenho fisiológico e maior acúmulo de biomassa, desde que a aplicação seja realizada em doses e estádios fenológicos adequados.

Entretanto, a eficiência da fertilização foliar depende diretamente do manejo correto, da dose e do momento de aplicação, uma vez que o uso indiscriminado pode resultar em baixa eficiência de absorção, fitotoxicidade ou desequilíbrios nutricionais secundários, comprometendo o desenvolvimento da cultura (HAVLIN *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2020).

3.4 Bioestimulante

Os bioestimulantes consistem em substâncias naturais ou sintéticas capazes de modular processos fisiológicos das plantas, independentemente do fornecimento direto de nutrientes. Esses produtos podem conter biorreguladores vegetais, aminoácidos e outros compostos orgânicos, sendo utilizados para estimular o crescimento, o desenvolvimento e a tolerância das plantas a condições de estresse (KLAHOLD *et al.*, 2006).

Segundo Du Jardin (2015), os bioestimulantes incluem grupos como aminoácidos e peptídeos, extratos de algas, ácidos húmicos e substâncias com ação hormonal. Diferentemente dos fertilizantes foliares, sua principal função não é suprir nutrientes, mas ativar rotas metabólicas, aumentando a eficiência fisiológica das plantas. Estudos relatam que a aplicação de bioestimulantes à base de aminoácidos pode elevar o teor de clorofila, a atividade enzimática e a eficiência fotossintética, resultando em maior crescimento vegetativo mesmo sob condições adversas (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014; YAKHIN *et al.*, 2017).

A ação fisiológica dos bioestimulantes está relacionada à presença de biorreguladores, como as auxinas, as citocininas e as giberelinas. As auxinas estimulam o crescimento radicular e o alongamento celular; as citocininas favorecem a divisão celular e retardam a senescência; enquanto as giberelinas atuam no crescimento vegetativo e na mobilização de reservas (TAIZ & ZEIGER, 2012). Esses mecanismos contribuem para maior eficiência no uso de recursos, especialmente em situações de desequilíbrio nutricional.

Além disso, a literatura destaca o papel dos bioestimulantes no alívio de estresses abióticos, como alterações químicas do solo, déficit hídrico e limitações nutricionais. A aplicação de aminoácidos tem sido associada à manutenção da fotossíntese, à estabilidade das membranas celulares e à regulação osmótica, favorecendo a adaptação das plantas a ambientes desfavoráveis (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014). O Kymon Plus® foi adotado como tratamento experimental para avaliar sua eficiência como estratégia corretiva frente aos efeitos fisiológicos e nutricionais decorrentes da elevação do pH do solo.

4. Metodologia

4.1 Local e condições experimentais

O experimento foi conduzido em duas etapas. Na primeira, o solo foi colocado em vasos plásticos e incubado com as doses de calcário em casa de vegetação da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus do Sertão. Posteriormente, os vasos foram transportados para o município de Lagarto – SE (10°57'26.4" S; 37°37'12.7" W), onde foi realizada a semeadura e a condução do experimento. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, com cobertura plástica, permitindo o controle das condições ambientais, especialmente da precipitação, mantendo as plantas sob condições naturais de temperatura e luminosidade.

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi em esquema fatorial, com quatro aplicações foliares (controle; MS Cana; Kymon; e MS Cana + Kymon) e duas doses de calcário (3 t e 12 t), em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, totalizando de 24 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso, em sistema aberto, com volume de 5,0 dm³. A recomendação de calagem foi para elevar a saturação por bases a 60% e para supercalagem multiplicou este resultado por 4. O cálculo foi feito com base volumétrica e os valores aplicados foram de 7,5 e 30 g/vaso de calcário, correspondentes a 3 e 12 t ha⁻¹, respectivamente.

Após a adição das doses de calcário no solo, ele foi misturado, homogeneizado e incubado por 60 dias em ambiente protegido. Durante o período de incubação, os vasos foram irrigados a cada cinco dias, com lâmina de 20 mm de água. Esse procedimento foi adotado para permitir a completa reação do calcário com os componentes do solo, garantindo maior uniformidade das condições químicas iniciais entre os tratamentos antes da instalação do experimento.

4.3 Cultivar utilizada

A cultivar utilizada no experimento foi o híbrido simples de milho KWS K9960 VIP3, de elevado vigor inicial, da KWS Sementes. Trata-se de semente geneticamente modificada, portador da tecnologia Agrisure Viptera VIP3, que confere maior proteção contra importantes espécies de lagartas que afetam a cultura do milho, como *Spodoptera frugiperda*. O híbrido apresenta bom potencial produtivo, ampla adaptação a diferentes condições edafoclimáticas e

adequada performance em ambientes de estresse. As sementes utilizadas passaram por tratamento, com os fungicidas metalaxil-M, fludioxonil, tiabendazol e azoxistrobina, e os inseticidas deltametrina, pirimifós-metílico, tiametoxam e ciantraniliprole.

4.4 Caracterização do solo, do calcário e dos fertilizantes foliares

O solo utilizado no experimento foi coletado em área comercial de milho no município de Lagarto – SE, em profundidade de 0 a 20 cm. Após a coleta, o solo foi seco ao sol, peneirado em peneira de 2 mm e homogeneizado. Em seguida, foi submetido para análise química no Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS) para avaliação dos atributos químicos e físicos do solo (Tabela 1).

Os atributos químicos do solo (pH em água, matéria orgânica, fósforo disponível, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e acidez potencial (H+Al) foram determinados conforme a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017). A análise granulométrica para determinação da textura do solo foi realizada pelo método da pipeta, conforme procedimentos estabelecidos pela EMBRAPA (2017).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo antes do experimento na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

pH _{H2O}	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	T	MO	V%	Argila	Silte	Areia
	mg/dm ³				cmol _c dm ⁻³			g/kg			%	
4,75	8,37	0,24	1,51	0,42	0,16	5,23	7,44	28,07	29,72	12	10	78

A caracterização físico-química do calcário foi realizada previamente pelo laboratório Plant Soil, localizado em Petrolina – PE (Tabela 2). Os teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) foram determinados por método químico volumétrico, baseado na digestão ácida da amostra seguida de titulação complexométrica com EDTA, conforme a metodologia oficial para análise de corretivos agrícolas (BRASIL, 2017). A análise granulométrica do corretivo foi conduzida por peneiramento a seco, utilizando as malhas de 2,00; 0,84 e 0,30 mm, conforme procedimentos descritos na Instrução Normativa MAPA nº 35/2006. O Poder de Neutralização (PN) foi determinado por titulometria, com base na equivalência em carbonato de cálcio (EqCaCO₃). A Reatividade (RE) foi estimada a partir da fração granulométrica do material, e o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) foi calculado com base nos valores de PN e RE.

Tabela 2. Características do calcário.

Produto	CaO	MgO	PN	PRNT	RE
			%		
Calcário	39,9	11,3	104,0	74,7	71,8

O Kymon Plus® é um bioestimulante foliar líquido, com pH neutro, composto por 20 aminoácidos essenciais (não disponibilizado pelo fabricante). Ele atua diretamente na fisiologia vegetal, otimizando a produção de enzimas, proteínas e hormônios, especialmente em situações de estresse (Tabela 3).

Tabela 3. Composição do Kymon Plus.

Composição	Garantias
Nitrogênio (N)	9%
Óxido de Potássio (K ₂ O)	3%
Carbono Orgânico Total (COT)	11,5%
Densidade	1,23 g/cm ³

Fonte: Fabricante do produto, conforme rótulo comercial.

O MS Cana é um fertilizante foliar em pó solúvel, formulado com alta concentração de micronutrientes, voltado ao equilíbrio metabólico e ao estímulo do crescimento durante o período vegetativo. Sua aplicação promove maior taxa de crescimento, desenvolvimento fisiológico e absorção de nutrientes (Tabela 4).

Tabela 4. Composição do MS cana.

Composição	Teores (%)
Óxido de Potássio (K ₂ O)	1,0
Enxofre (S)	11,2
Zinco (Zn)	10,0
Boro (B)	4,0
Cobre (Cu)	1,5
Manganês (Mn)	9,8
Molibdênio (Mo)	2,0

Fonte: Fabricante do produto, conforme rótulo comercial.

4.5 Condução experimental

O plantio foi realizado em 26 de outubro de 2025. Em cada vaso foram semeadas cinco sementes, posicionadas a 5 cm de profundidade. A adubação de base foi realizada no momento da semeadura, com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônio fosfato (MAP). A adubação de cobertura foi realizada em duas etapas. A primeira ocorreu uma semana após o

plantio, no início da emergência das plantas, com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) e 25 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. A segunda etapa foi realizada quando as plantas se encontravam entre os estádios fenológicos V6 e V7, com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de ureia. A irrigação foi realizada manualmente, três vezes ao dia, aplicando-se 250 mL de água por vaso em cada irrigação, totalizando cerca de 750 mL vaso⁻¹ dia⁻¹.

As aplicações foliares foram realizadas nos estágios fenológicos V6 e V7. A pulverização foi realizada com pulverizador costal pressurizado da linha jacto com capacidade máxima de 20 L, equipado com bico regulável, com vazão de 0,6 L min⁻¹ e ângulo de cone de 70°, mantendo-se a barra de aplicação a aproximadamente 40 cm acima da parte aérea das plantas, assegurando distribuição uniforme da calda permitindo uma pulverização fina e uniforme.

Antes de cada aplicação, o equipamento foi calibrado para assegurar volume constante, pressão adequada e uniformidade na deposição da calda. As concentrações dos produtos aplicados na pulverização foliar foram definidas conforme os tratamentos experimentais, sendo o MS Cana® 300 g ha⁻¹ e o Kymon Plus® 2 L ha⁻¹. O dispersante da marca Disperse® na dose de 0,15 mL ha⁻¹. O dispersante foi aplicado em todos os tratamentos. A pulverização foi realizada de modo a simular a dose recomendada em campo, considerando população de 55.000 plantas ha⁻¹ e volume de calda de 200 L ha. O tempo de pulverização foi previamente ajustado e estimado para que cada planta recebesse o mesmo volume.

As variáveis analisadas no experimento foram altura de plantas, número de folhas por planta, índice SPAD, diâmetro do colmo e massa seca das partes da planta (folhas, colmo, pendão e raízes). As avaliações foram realizadas apenas ao final do experimento, no dia 18 de dezembro de 2025, quando as plantas se encontravam entre os estádios fenológicos V8 e V9, correspondendo a aproximadamente 53 dias após o plantio. A altura de plantas (ALT) foi medida em centímetros, com auxílio de trena, considerando-se a distância desde a superfície do solo até o ápice da planta. O número de folhas por planta (NF) foi obtido por meio de contagem direta, considerando-se apenas as folhas completamente expandidas. O diâmetro do colmo (DC) foi determinado com o auxílio de paquímetro digital, realizando-se a mensuração na região basal do colmo, próxima ao nível do solo, a fim de garantir maior padronização e precisão das medidas.

O índice SPAD foi determinado com o uso de clorofilômetro portátil, modelo atLEAF CHL PLUS, sendo realizadas dez leituras por planta na região central da lâmina foliar, com cinco leituras de cada lado da nervura central. A folha avaliada foi a segunda folha completamente expandida, no sentido de cima para baixo, adotando-se a folha diagnóstica

recomendada na literatura para a cultura do milho, de modo a padronizar as leituras e reduzir a variabilidade entre plantas (ARGENTA; SILVA; BORTOLINI, 2001; ARGENTA; SILVA; v, 2004).

No corte das plantas, foram feitas a separação das folhas, colmo, pendão e raízes das plantas de milho, com acondicionamento em sacos de papel. Em seguida, o material vegetal foi levado à estufa de circulação forçada de ar, permanecendo por cinco dias à temperatura de 65 °C, até atingir massa constante. Após a secagem, o material foi pesado em balança analítica.



Figura 1. (A) Determinação do índice SPAD na folha de milho; (B) Material vegetal separado em folhas, colmo e pendão; (C) Secagem do material vegetal em estufa.

As coletas de solo foram realizadas após o corte das plantas utilizando-se um tubo de PVC de 40 mm de diâmetro como amostrador. Foram retiradas duas amostras por vaso até a profundidade de 25 cm. As amostras de solo foram acondicionadas em sacolas plásticas e levadas à estufa a temperatura de 40 °C. Após secas e peneiradas (2 mm), foram determinados o pH em água e a condutividade elétrica conforme Teixeira *et al.* (2017).

4.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011), considerando delineamento em blocos casualizados com arranjo fatorial (2x4). Significâncias (teste F, $p \leq 0,05$) foram desdobradas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade).

5. Resultados e discussão

Na análise de variância, a interação dose de calcário x fertilizantes foliares não foi significativa para nenhuma variável analisada (Tabela 5). De forma isolada, somente as doses de calcário tiveram efeitos significativos para massa seca das raízes (MSR), massa seca do colmo (MSC), massa seca do pendão (MSP), massa seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e pH do solo.

Tabela 5. Resumo da análise de variância ANOVA para índice SPAD (SPAD), altura de plantas (ALT), número de folhas (NF), massa seca de folhas (MSF), massa seca de colmo (MSC), massa seca de raízes (MSR), massa seca do pendão (MSP), diâmetro do colmo (DC), massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPA), pH do solo (pH) e condutividade elétrica (CE).

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio											
		SPAD	ALT	NF	MSF	MSC	MSR	MSP	DC	MST	MSPA	pH	CE
Calagem (C)	1	10,140 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,166 ^{ns}	23,108 ^{**}	51,450 [*]	102,34 [*]	3,496 ^{**}	11,34 ^{ns}	452,31 [*]	146,71 [*]	8,330 [*]	25,584 ^{ns}
Aplicação (A)	3	14,246 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,444 ^{ns}	1,091 ^{ns}	4,907 ^{ns}	10,501 ^{ns}	0,101 ^{ns}	1,107 ^{ns}	20,51 ^{ns}	12,02 ^{ns}	0,045 ^{ns}	37,441 ^{ns}
C x A	3	0,564 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,166 ^{ns}	1,335 ^{ns}	5,575 ^{ns}	21,678 ^{ns}	0,290 ^{ns}	0,724 ^{ns}	59,41 ^{ns}	9,57 ^{ns}	0,018 ^{ns}	57,662 ^{ns}
Erro	14	13,1	0,029	0,267	2,35	8,119	21,524	0,157	3,008	37,11	17,01	0,018	41,801 ^{ns}
CV (%)		7,13	13,78	6,09	9,88	19,07	28,11	12,02	12,77	13,02	13,55	2,02	30,39

^{ns} não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

O aumento da dose de calcário promoveu elevação do pH do solo (Figura 3), sendo que a dose de 12 t ha⁻¹ apresentou o maior valor (7,38), enquanto a dose de 3 t ha⁻¹ apresentou valor de 6,20. Esse incremento confirma a eficiência da calagem na neutralização da acidez do solo, promovendo redução dos íons H⁺ e Al³⁺ e elevação da saturação por bases. Contudo, quando aplicada em excesso, a calagem pode elevar o pH para faixas superiores às consideradas adequadas para a cultura do milho (5,5–6,5), o que resulta em estresse abiótico. Em valores próximos a 6,0–6,2, o milho tende a apresentar melhor equilíbrio nutricional e maior eficiência na absorção de nutrientes. Entretanto, a elevação do pH para valores superiores a 7,0 pode alterar a dinâmica química do solo, especialmente pela redução da solubilidade de micronutrientes metálicos. Nessas condições, ocorre maior precipitação desses elementos, limitando sua disponibilidade e absorção radicular.

Estudos conduzidos com milho demonstram que o aumento do pH do solo por meio da calagem promoveu respostas máximas de produtividade e acúmulo de biomassa em valores próximos a 6,0–6,1, com redução da eficiência em faixas mais elevadas (ERNANI *et al.*, 1998). De forma semelhante, Melo *et al.* (2011) verificaram influência significativa da calagem sobre a matéria seca total da cultura em condições de casa de vegetação. Caires *et al.* (2016) destacaram que doses crescentes de calcário modificam os atributos químicos do solo e impactam o acúmulo de biomassa, reforçando a necessidade de ajuste adequado da dose.

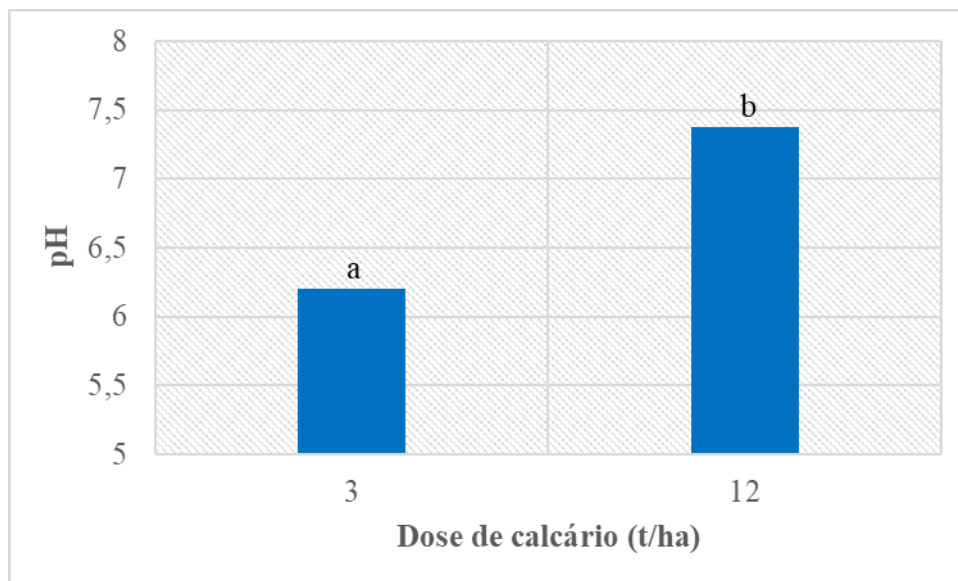


Figura 3. pH do solo em função das doses de calcário.

A massa seca da parte aérea e das raízes do milho foi influenciada pelas doses de calcário aplicadas ao solo (Tabela 6). A dose de 12 t ha⁻¹ reduziu o acúmulo de biomassa geral das plantas de milho. A massa seca da parte aérea (MSPA) foi de 32,90 g planta⁻¹ na menor dose, reduzindo para 28,01 g planta⁻¹ na maior dose de calcário. Em valores de pH mais elevados, ocorre maior precipitação e redução da solubilidade de micronutrientes metálicos, como Fe, Mn, Zn e Cu (MALAVOLTA, 2006; RAIJ, 2011; HAVLIN *et al.*, 2014), o que limita sua absorção pelo sistema radicular. Esse mecanismo pode explicar a menor expansão das raízes e o decréscimo no acúmulo de biomassa observados nas plantas submetidas à dose de 12 t ha⁻¹, evidenciando os efeitos da supercalagem sobre o crescimento inicial do milho.

As alterações no ambiente químico do solo limitaram a eficiência das aplicações foliares, uma vez que desequilíbrios nutricionais afetam diretamente a absorção, a translocação e a utilização dos nutrientes pelas plantas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARSCHNER, 2012). A literatura aponta que a eficiência da adubação foliar depende de fatores como estágio fenológico, área foliar ativa e condições fisiológicas da planta, sendo que, sob estresse biótico persistente, aplicações isoladas tendem a apresentar baixa resposta (FERNÁNDEZ; EICHERT, 2009; TAIZ *et al.*, 2017). Assim, os resultados sugerem que os tratamentos foliares com MS Cana, Kymon Plus® e sua combinação não foram suficientes para compensar os efeitos negativos impostos pelo elevado pH do solo, indicando que o ajuste adequado da dose de calcário é condição primordial para que estratégias complementares de fertilização apresentem maior efetividade.

Tabela 6. Massa seca das raízes (MSR), massa seca do colmo (MSC), massa seca do pendão (MSP), massa seca de folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) em função das doses de calcário

Calcário	MSR	MSC	MSP	MSF	MSPA	MST
t ha ⁻¹	g vaso ⁻¹					
3	18,57a	16,40a	3,68a	16,49a	32,90a	51,14a
12	14,44b	13,47b	2,92b	14,53b	28,01b	42,46b

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A massa seca das folhas apresentou médias de 16,49 g planta⁻¹, na dose de 3 t ha⁻¹, e de 14,53 g planta⁻¹, na dose de 12 t ha⁻¹, enquanto a massa seca do colmo foi de 16,40 e 13,47 g planta⁻¹, respectivamente. A redução simultânea em tecidos fotossintéticos e estruturais indica que o efeito da maior dose de calcário não foi pontual, mas comprometeu o crescimento vegetativo de forma geral. A matéria seca total (MST) seguiu a mesma tendência, com valores de 51,14 g planta⁻¹, na dose de 3 t ha⁻¹, e de 42,46 g planta⁻¹, na dose de 12 t ha⁻¹. A massa seca das raízes também foi superior na menor dose (18,57 g planta⁻¹) em relação à maior dose (14,44 g planta⁻¹). De forma semelhante, a massa seca do pendão reduziu de 3,69 para 2,92 g planta⁻¹ com o aumento da dose, indicando que os efeitos do pH elevado se estenderam inclusive aos órgãos reprodutivos.

Resultados semelhantes foram relatados por Melo *et al.* (2011), que observaram redução na matéria seca do milho sob doses elevadas de calcário. Caires *et al.* (2002) registraram valores de matéria seca da parte aérea entre 27 e 34 g planta⁻¹ sob condições de correção adequada da acidez, faixa compatível com os valores obtidos na dose de 3 t ha⁻¹ neste estudo. Araújo *et al.* (2009) destacaram que a adequação da dose e da reatividade do corretivo é determinante para otimizar o crescimento da cultura.

A maior redução foi registrada na massa seca de raízes (MSR), com decréscimo de 22%, indicando maior sensibilidade do sistema radicular às alterações no ambiente químico do solo (Figura 2). Em seguida, destacaram-se as reduções na massa seca do pendão (MSP), com 21%, e do colmo (MSC), com 18%. A massa seca total (MST) e a massa seca da parte aérea (MSPA) apresentaram reduções de 17% e 15%, respectivamente, enquanto a menor redução foi observada na massa seca das folhas (MSF), com 12%.

O crescimento das raízes depende diretamente das condições químicas do solo, uma vez que esse órgão é responsável pela exploração do volume de solo e pela absorção de água e nutrientes. Condições químicas inadequadas de solo interferem na absorção iônica e na atividade metabólica radicular, restringindo sua expansão. Como consequência, a menor

formação de raízes tende a limitar a capacidade de suporte nutricional da planta, refletindo-se na redução da biomassa na planta.

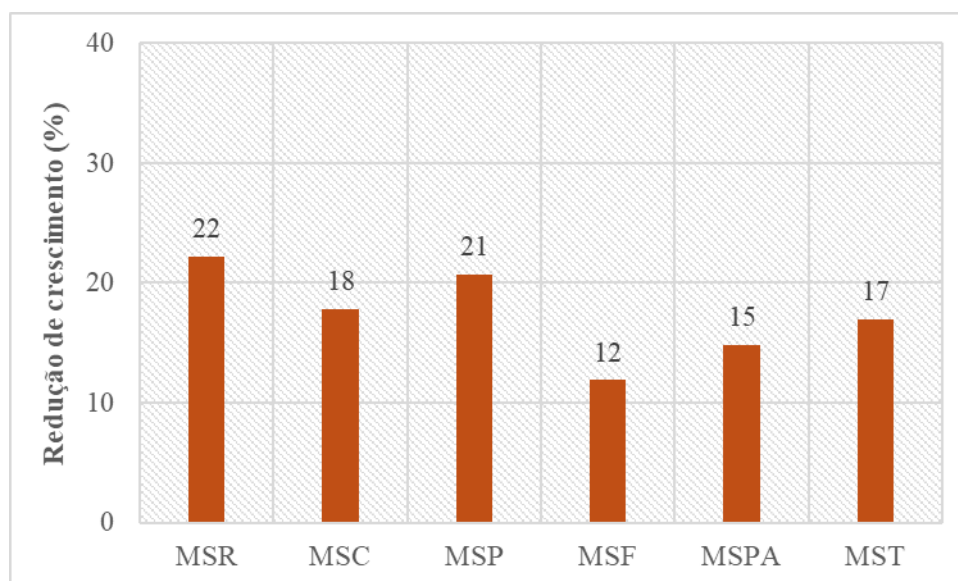


Figura 2. Redução no crescimento do milho (%) quando exposto a supercalagem massa seca das raízes (MSR), massa seca do colmo (MSC), massa seca do pendão (MSP), massa seca das folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST).

A redução observada no pendão sugere que os efeitos do desequilíbrio nutricional não se restringiriam ao crescimento vegetativo, podendo também influenciar estruturas reprodutivas em desenvolvimento. Segundo Taiz *et al.* (2017), condições de estresse biótico podem alterar a partição de assimilados e a formação de órgãos, afetando o crescimento global da planta. De maneira geral, os resultados confirmam que a supercalagem promoveu efeito negativo sobre o desenvolvimento do milho, corroborando a importância do manejo adequado da dose de corretivo (RAIJ, 2011).

6. Conclusões

A aplicação de dose elevada de calcário resultou em elevação excessiva do pH do solo, culminando na redução da produção de massa seca da parte aérea e do sistema radicular do milho. A aplicação foliar de nutrientes e bioestimulantes, nas condições experimentais e no estágio fenológico em que foi realizada, não foi suficiente para mitigar os efeitos adversos da elevação do pH do solo, em razão da severidade do estresse químico imposto ao ambiente radicular e do número limitado de aplicações adotado no experimento.

7. Referências bibliográficas

- ALCARDE, J. C. **Calagem e adubação em pastagens**. In: MARTHA JUNIOR, G. B. (org.). *Uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens*. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2005. p. 11–44.
- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Adubação nitrogenada na cultura do milho**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 8, p. 771–777, 2004.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. **Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em milho**. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 158–167, 2001.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FLECK, N. G. **Diagnose do nível de nitrogênio em milho por meio da leitura do clorofilômetro**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1455–1461, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006: estabelece os métodos oficiais para análise de corretivos de acidez, fertilizantes e condicionadores de solo**. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 jul. 2006. Seção 1, p. 10–16.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, DF: MAPA, 2017.
- CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. **Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1011–1022, 2002. DOI: 10.1590/S0100-06832002000400019.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. **Agricultural uses of plant biostimulants**. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 383, p. 3–41, 2014.
- CANTARELLA, H. *et al.* **Calagem e gessagem**. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (org.). *Calagem e gessagem em solos do Cerrado*. 2. ed. rev. e ampl. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022. p. 25–74.
- COELHO, A. M. **Adubação foliar em milho utilizando fertilizantes multinutrientes**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1094860>. Acesso em: 22 maio 2025.
- DUARTE, T. S. *et al.* **Efeito da aplicação foliar de aminoácidos no crescimento de plantas de milho em solo com deficiência induzida de ferro**. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 66, n. 5, p. 336–344, 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Milho: dados da cultura**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>. Acesso em: 22 maio 2025.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2006.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. **Influência da calagem na disponibilidade de nutrientes e na produção de milho em solo ácido**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 1–10, 1998.

FERNÁNDEZ, V.; BROWN, P. H. **From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients**. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 4, p. 1–5, 2013.

FERNÁNDEZ, V.; EICHERT, T. **Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization**. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Abingdon, v. 28, n. 1–2, p. 36–68, 2009.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: um sistema computacional de análise estatística**. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, nov./dez. 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

GARCEZ, T. B. *et al.* **Limestone dissolution under varying rates and soil textures**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, v. 55, n. 1, p. 1–11, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2274030>. Acesso em: 22 jul. 2025.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 6. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2014.

KLAHOLD, C. A. *et al.* **Efeito de bioestimulante no desenvolvimento inicial de plântulas de soja**. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 28, n. 2, p. 55–62, 2006.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

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

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MARTÍNEZ-GUTIÉRREZ, A. *et al.* **Yield of corn hybrids in response to foliar fertilization with biostimulants**. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, v. 13, n. 2, p. 289–301, 2022.

MELO, L. C. A.; AVANZI, J. C.; CARVALHO, R.; SOUZA, F. S.; PEREIRA, J. L. A. R.; MENDES, A. D. R.; MACÊDO, G. B. **Nutrição e produção de matéria seca de milho submetido a calagem e adubação sulfatada**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 193–199, abr./jun. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/8685>. Acesso em: 29 jan. 2026.

NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

PRADO, R. de M.; NATEL, A. P. de S.; CANTARELLA, H. **Supercalagem: implicações e possíveis prejuízos à fertilidade do solo e à nutrição vegetal**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 3, p. 287–295, 2013.

RAIJ, B. van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2001.

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

SILVA JUNIOR, O. L. *et al.* **Complexo do enfezamento do milho, sustentabilidade e segurança alimentar: uma revisão literária**. *Observatório de la Economía Latino-americana*, v. 22, n. 5, p. e4746, 2024.

SORATTO, R. P. *et al.* **Desenvolvimento inicial e nutrição do milho em função da calagem**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 193–202, 2010.

STEWART, W. M. *et al.* **Foliar micronutrient application effects on maize yield and nutrient concentration**. *Agronomy*, v. 10, n. 12, p. 1946, 2020.

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

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (orgs.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017.