



MARIA EDUARDA REIS COSTA

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ADUBAÇÃO EM VASO
PARA PLANTAS DE MILHO**

LAVRAS – MG

2023

MARIA EDUARDA REIS COSTA

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ADUBAÇÃO EM VASO PARA PLANTAS DE
MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Agronomia, para a obtenção do
título de Bacharel.

Profa. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Orientadora

LAVRAS – MG

2023

MARIA EDUARDA REIS COSTA

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ADUBAÇÃO EM VASO PARA PLANTAS DE MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 29 de novembro de 2023

Dra. Maria Ligia de Souza Silva

Eng. Agr. Fabrício Teixeira de Lima Gomes

MsC. Ane Caroline Melo Ferreira

Prof. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Orientadora

LAVRAS – MG

2023

Resumo

Para diversos propósitos muitos estudos são realizados em casa de vegetação, em vasos com solo. Entretanto a uma questão considerável sobre a adubação adequada para cultivos em vasos experimentais, principalmente em relação à recomendação mais apropriada. Diante deste contexto, foram conduzidos experimentos, para avaliar o efeito de diferentes métodos de adubações na cultura do milho. O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados três tipos de solos com texturas contrastantes que foram coletados em campo não cultivados sob vegetação natural. A unidade experimental foi composta por vasos com capacidade de 3,5 dm³ de solo e duas plantas de milho, híbrido BM 915 PRO. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x4, sendo três tipos de solos e quatro doses: 1) controle (sem aplicação), 2) a recomendação de Malavolta (1981), 3) metade da dose de recomendação de Malavolta (1981) e 4) dose utilizada no campo para o volume de solo contido no vaso (BOLETIM 100). O milho foi conduzido por 50 dias após a germinação. Antes do corte fez-se medições da altura das plantas. As plantas foram cortadas rente ao solo, foram determinadas a massa seca de parte aérea e os teores dos nutrientes. Os resultados indicaram um melhor desempenho para metade da recomendação de Malavolta.

Palavras-chave: *Zea mays.*; adubação em vasos; Nutrição mineral; Malavolta.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	7
2.REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Nutrição de Plantas	9
2.2 Fertilizantes	10
2.3 Características da cultura do milho	11
2.4 Exigências em nutrientes pela cultura do milho	12
2.5 Recomendações nutricionais para a cultura do milho	15
3.MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Delineamento experimental	18
3.2 Local e condições de cultivo	18
3.3 Tratamentos	20
3.4 Determinação dos elementos	20
3.5 Análises estatísticas	21
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Massa seca da parte aérea e altura de plantas	21
4.2 Teor de nutrientes	22
4.2.2 Macronutrientes	23
4.2.2.1 Teor de Nitrogênio	23
4.2.2.2 Teor de Fósforo	25
4.2.2.3 Teor de Potássio	27
4.2.2.4 Teor de Enxofre	29
4.2.3 Micronutrientes	30
4.2.3.1 Teor de Boro	30
4.2.3.2 Teor de Zinco	32
5.CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1.INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido como um dos principais produtores globais de alimentos, especialmente nos setores de grãos como soja, milho e café, além da produção de cana-de-açúcar e carne. De acordo com os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) referentes à safra 2022/2023, o país alcançou a posição de maior exportador mundial de milho, superando os Estados Unidos. Embora essas classificações possam flutuar devido a fatores externos como condições climáticas e variações de mercado, as cinco décadas recentes de inovação agropecuária no Brasil tiraram o país da condição de importador de alimentos, onde predominava a insegurança alimentar, crises de abastecimento e pobreza rural, para a condição de grande exportador e gerador de tecnologias.

É incontestável que a ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos. Para buscar constantemente maior produtividade, é imprescindível direcionar investimentos significativos em projetos de pesquisa. Estes projetos devem focar na resolução de uma variedade de desafios que afetam as culturas, abrangendo áreas como fitopatologia, entomologia, nutrição mineral, irrigação, manejo entre outras. A inovação nesses domínios é fundamental para otimizar o cultivo, garantir a saúde das plantas e melhorar a eficiência do uso de recursos, contribuindo assim para uma produção mais abundante e sustentável.

Atualmente, muitos estudos são conduzidos em casas de vegetação devido ao ambiente controlado que oferecem para o crescimento das plantas. Nessas instalações, fatores como água, iluminação, fertilizantes, oxigênio e dióxido de carbono (CO₂) são regulados. O propósito desses locais é resguardar as plantas dos efeitos adversos do clima e de outros elementos meteorológicos. Por outro lado, há uma discussão considerável sobre a adubação adequada nesses vasos experimentais, principalmente em relação à recomendação mais apropriada. Usa-se tradicionalmente uma recomendação de Malavolta (1981), porém, essa recomendação trata-se de doses para experimentos de subtração, ou seja, experimento com o intuito de provocar falta de determinados

elementos. Usam-se as doses do chamado tratamento completo, que seria comparado aos tratamentos com omissões dos elementos a serem avaliados. Quando essas doses são extrapoladas para campo, são relativamente muito maiores do que as comumente utilizadas.

Outra alternativa de adubação para vaso seria proporcionar as doses utilizadas no campo para o volume de solo contido no vaso, o que traz uma condição mais real do que se usa no cotidiano.

Para este estudo, a cultura do milho foi selecionada como planta de teste devido à sua alta responsividade à adubação, especialmente ao nitrogênio. Além disso, essa escolha foi motivada pelo fato de o milho ser comumente cultivado em casas de vegetação e possuir um ciclo de vida relativamente curto.

Partindo desse princípio, este trabalho teve por objetivo avaliar diferentes doses de recomendação de adubação em vaso utilizando a planta de milho em diferentes tipos de solos.

2.REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Nutrição de Plantas

A nutrição de plantas é um campo vital no cultivo de qualquer cultura, incluindo o milho (*Zea mays*). A absorção de nutrientes é essencial para o crescimento e desenvolvimento saudável das plantas, e o milho não é exceção. Os elementos essenciais para as plantas são divididos em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes, como Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), são necessários em quantidades relativamente grandes, desempenhando papéis cruciais na fotossíntese, metabolismo e estrutura da planta (Malavolta, 2006). Por outro lado, os micronutrientes, como Ferro (Fe), Zinco (Zn) Manganês (Mn), Boro (B), Cloro (Cl), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni) e Cobre (Cu) são requeridos em quantidades menores, mas são igualmente vitais para processos bioquímicos fundamentais (KORNDÖRFER et al., 2004).

A disponibilidade desses nutrientes está diretamente ligada às características do solo em que o milho é cultivado. O solo deve conter a quantidade adequada e equilibrada de nutrientes para garantir o crescimento ótimo da planta. Além disso, fatores ambientais, como pH do solo e sua capacidade de retenção de água, influenciam a disponibilidade e absorção de nutrientes pelas raízes do milho (MALAVOLTA, 2006).

A absorção dos nutrientes pelas plantas ocorre principalmente através das raízes, sendo influenciada por fatores como a disponibilidade e a forma química dos nutrientes no solo, bem como pelas características físicas e químicas do solo, incluindo textura, estrutura e capacidade de troca iônica. Pode ocorrer de forma ativa, envolvendo transporte ativo através da membrana da célula da raiz, ou de forma passiva, dependendo do gradiente de concentração do nutriente entre o solo e a raiz (FAQUIN, 2005).

Os íons inorgânicos são as principais formas de nutrientes absorvidos pelas plantas. O nitrogênio, por exemplo, é absorvido principalmente na forma de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), enquanto o P é absorvido como fosfato (HPO_4^{2-}). O K é absorvido como íon potássio (K^+), e assim por diante para os demais nutrientes essenciais.

A capacidade de absorção das plantas é influenciada pelo pH do solo, pois ele afeta a disponibilidade iônica dos nutrientes. Em solos ácidos, por exemplo, a disponibilidade de nutrientes como ferro e manganês pode aumentar, enquanto em solos alcalinos, a disponibilidade de nutrientes como P pode ser limitada (FAQUIN, 2005).

2.2 Fertilizantes

Os adubos ou fertilizantes consistem em compostos químicos, minerais ou orgânicos, de origem natural ou sintética, que podem ser combinados ou não, e que contêm um ou mais nutrientes necessários para suprir as demandas nutricionais das plantas. Quando aplicados adequadamente ao solo, em quantidades corretas, esses fertilizantes têm o propósito de proporcionar melhorias químicas, físicas e/ou biológicas, além de aumentar a produtividade e a qualidade das colheitas (ZONTA et al, 2021)

A adubação racional, eficiente e equilibrada é um dos principais fatores para alcançar uma produtividade ideal nas culturas agrícolas. Embora a adubação otimize os rendimentos, é importante considerar que o uso de fertilizantes pode resultar em aumento dos custos de produção. A eficácia da adubação é influenciada por diversas variáveis, incluindo as características específicas dos fertilizantes, a dosagem aplicada, o método e a forma de aplicação, além das práticas de manejo e as propriedades do solo (BORGES et al, 2020)

Os fertilizantes podem ser classificados de acordo com vários critérios, sendo um dos principais determinado pela sua natureza ou origem. Nesse contexto, eles se dividem em três categorias principais: fertilizantes minerais ou inorgânicos, fertilizantes orgânicos e fertilizantes organominerais (MALAVOLTA, 2000).

Os fertilizantes minerais são produtos enriquecidos com nutrientes vitais para a saúde das plantas. Comumente conhecidos como NPK, fornecem a clássica combinação de nitrogênio, fósforo e potássio, além de outros elementos como magnésio, cálcio, enxofre, boro e zinco, variando de acordo com a cultura a ser cultivada (MALAVOLTA, 2000).

Os fertilizantes minerais podem ser categorizados da seguinte forma: fosfatados: possuem alto teor de fósforo e são derivados do superfosfato, fosfato oxidado, fosfatos de amônio e termofosfatos; nitrogenados: Compostos principalmente por nitrogênio, sua principal fonte é a amônia (NH₃); potássicos: Têm o potássio como nutriente principal e

são obtidos a partir do sulfato de potássio e do cloreto de potássio. São frequentemente solúveis em água (VIEIRA, 2009).

Além dessas categorias, existem os fertilizantes mistos, que combinam um ou mais dos macronutrientes essenciais juntamente com micronutrientes. Outro tipo de fertilizante mineral são os corretivos de solo, que visam corrigir a acidez. Os mais comuns no mercado brasileiro incluem os calcários (calcítico, dolomítico e magnesiano), cal virgem agrícola, cal hidratada agrícola, entre outros. Existem várias formas para a aplicação desses fertilizantes no solo, e as mais comuns são: incorporação no solo e aplicação foliar (LUZ, 2003).

2.3 Características da cultura do milho

O milho, cientificamente conhecido como *Zea mays*, é uma planta originária da América. Sua história remonta a milhares de anos, sendo um dos cultivos mais antigos e importantes das civilizações indígenas da América Central e do Sul.

Durante o período colonial, o milho foi amplamente cultivado e se tornou um alimento básico para escravos e populações rurais, e novas formas de utilização do grão foram introduzidas, integrando-se à cultura alimentar da população brasileira. Fancelli e Dourado Neto (2000) destacam que a adaptabilidade do milho permitiu sua disseminação em diferentes regiões do mundo. Prasanna (2012) observa que foram os colonizadores que levaram as sementes de milho para a Europa, África e Ásia, estabelecendo-o como um dos cereais mais cultivados nesses continentes. Atualmente, o milho é um dos principais cereais cultivados no Brasil, tanto para consumo humano quanto para ração animal, desempenhando um papel fundamental na economia agrícola. (ALVES; PEREIRA, 2010)

O milho é uma planta classificada como C4, referindo-se à anatomia e ao mecanismo de fotossíntese adotado. Plantas C4 possuem uma via metabólica especializada (ciclo C4) que lhes confere maior eficiência na captação de dióxido de carbono (CO₂) e uso de luz solar, especialmente em ambientes quentes e com alta luminosidade, comumente encontrados no Brasil. A anatomia C4 otimiza a fixação do CO₂, resultando em maior produtividade de biomassa e eficiência no uso de água. (OLIVEIRA; ANDRADE; PENTEADO, 2005).

É também considerado uma planta alógama, o que significa que ocorre a fecundação cruzada entre diferentes plantas. Para a formação dos grãos, é necessário o

transporte de pólen das flores masculinas (estames) para as flores femininas (espigas). Esse comportamento favorece a variabilidade genética dentro da população de milho, contribuindo para a adaptação da planta a diferentes condições ambientais. A polinização cruzada é promovida principalmente por agentes polinizadores, como abelhas e vento. (FERNANDES, 2003)

O milho é uma cultura que demanda quantidades consideráveis de água, especialmente durante fases críticas do seu ciclo de crescimento. A necessidade hídrica varia ao longo das fases fenológicas da planta. Segundo Azevedo et al. (2004), a fase de enchimento de grãos é particularmente sensível à disponibilidade de água, impactando diretamente na produtividade da cultura. Quanto à temperatura média anual, a 25°C é a ideal, Temperaturas abaixo de 10°C são inaptas (CRUZ, 2006).

O sistema radicular do milho desempenha um papel vital no suporte da planta, absorção de água, nutrientes e estabilidade contra ventos fortes. O enraizamento superficial inicial é seguido por um desenvolvimento mais profundo do sistema radicular. Conforme demonstrado por Melo et al. (2008), o manejo adequado do solo e práticas agronômicas podem influenciar positivamente o desenvolvimento e a eficiência do sistema radicular do milho.

O milho (*Zea mays*) é uma cultura versátil e adaptável, capaz de prosperar em diferentes tipos de solo. Dentre eles, os solos argilosos se destacam, devido à sua capacidade de reter água e nutrientes, fornecendo suporte vital durante períodos de estiagem (CRUZ, 2006). Além disso, solos francos e franco-argilosos são amplamente utilizados, pois oferecem uma boa drenagem, evitando o acúmulo excessivo de água nas raízes (Azevedo et al., 2004). Independentemente da composição específica, solos profundos e bem drenados proporcionam um ambiente propício para o desenvolvimento radicular eficaz, fundamental para o crescimento saudável do milho.

2.4 Exigências em nutrientes pela cultura do milho

O milho é uma cultura altamente responsiva à adubação e possui 17 elementos químicos essenciais para completar seu ciclo (ARNON; STALT 1939). Podem ser divididos em macronutrientes, constituem aproximadamente 99,5% da massa seca, cuja exigência é da ordem de gramas do nutriente por quilo de massa seca produzida pelas plantas (g kg^{-1}); e micronutrientes que constituem cerca de 0,5% da massa seca das plantas e cuja exigência é de miligramas do nutriente para cada quilo de massa seca vegetal (mg kg^{-1}).

Devido à sua excelente resposta à adubação, a planta de milho foi selecionada como planta teste para este estudo. Sua utilização frequente em experimentos agrícolas é respaldada por suas características, como o ciclo de crescimento relativamente curto, a independência em relação ao fotoperíodo e a facilidade de cultivo em vasos em ambientes de casas de vegetação, tornando-o a melhor opção para o experimento em questão (CRUZ, 2006).

A adequada disponibilidade desses nutrientes é essencial para o crescimento vegetativo, o desenvolvimento de estruturas reprodutivas e a qualidade dos grãos produzidos. O N é um dos elementos mais essenciais para o crescimento e desenvolvimento saudável das plantas de milho (*Zea mays*) e desempenha um papel fundamental em diversas vias metabólicas e processos biológicos. Este macronutriente é um componente crucial das proteínas, ácidos nucleicos, clorofila e aminoácidos, participando ativamente em processos metabólicos associados à fotossíntese e ao metabolismo energético das células vegetais (MALAVOLTA, 2006).

Para a cultura do milho, o N é primordial para promover o crescimento vegetativo inicial da planta, desencadeando a formação de folhas e caules vigorosos. Além disso, é um componente essencial da clorofila, o pigmento responsável pela fotossíntese, afetando diretamente a eficiência da captação de luz e, conseqüentemente, a produção de carboidratos para a planta. Este nutriente também exerce um papel crucial no desenvolvimento dos grãos, influenciando o tamanho e o número de espigas por planta, sendo, portanto, um fator determinante para a produtividade final do milho (BARROS, 2014).

Contudo, é fundamental monitorar e administrar cuidadosamente o N no solo, uma vez que um excesso desse nutriente pode acarretar desequilíbrios e prejudicar a absorção de outros nutrientes, além de contribuir para a poluição ambiental por meio da lixiviação de nitratos (MALAVOLTA, 2006). Portanto, a aplicação balanceada de nitrogênio é crucial para otimizar a produção e a qualidade dos grãos de milho, garantindo uma colheita satisfatória.

O P é um dos macronutrientes essenciais para o desenvolvimento saudável das plantas de milho (*Zea mays*) e desempenha um papel crucial em várias vias metabólicas e processos biológicos. Este elemento é fundamental na formação de moléculas de alta energia, como o trifosfato de adenosina (ATP), que é a principal moeda de energia nas células vegetais. Além disso, está presente em compostos estruturais, como o ácido

nucleico DNA (ácido desoxirribonucleico) e o RNA (ácido ribonucleico), que são vitais para a síntese de proteínas e a regulação genética (MARSCHNER, 2012).

Desempenha um papel crucial no desenvolvimento radicular, na promoção da floração e na formação de sementes. Uma quantidade adequada de P é essencial no início do ciclo da cultura, pois promove o desenvolvimento inicial das raízes, permitindo uma melhor absorção de nutrientes e água do solo. Além disso, durante a floração, o P desempenha um papel vital na formação das estruturas reprodutivas e no desenvolvimento dos grãos (MARSCHNER, 2012). O manejo adequado do P é crucial para garantir uma produção adequada de milho. A deficiência do nutriente pode resultar em crescimento deficiente, atraso na floração e redução na produtividade dos grãos. Por outro lado, um excesso desse nutriente pode levar à competição com outros íons e prejudicar a absorção de outros nutrientes essenciais (BARROS, 2014).

O K desempenha um papel crucial em várias funções fisiológicas. Assim como o N e o P, é fundamental na síntese de adenosina trifosfato (ATP), uma molécula que armazena e transporta energia nas células vegetais. Além disso, o potássio está envolvido na regulação osmótica das células, no equilíbrio ácido-base e na ativação de enzimas que auxiliam em diversas reações bioquímicas (MARSCHNER, 2012).

É crucial para promover a resistência a estresses, como a seca e o frio, além de melhorar a qualidade dos grãos. Ajuda na regulação do movimento de água nas plantas e fortalece as células, tornando-as mais resistentes a variações ambientais. Uma oferta adequada de K é fundamental em todas as fases de crescimento, pois contribui para uma planta de milho saudável, com folhas vigorosas e grãos de alta qualidade (BARROS, 2014).

O Enxofre (S), embora seja um nutriente menos mencionado, é igualmente vital para o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho. Está intimamente relacionado à síntese de proteínas, sendo parte integrante de aminoácidos essenciais, como a cisteína e a metionina. Além disso, contribui para a formação de enzimas e vitaminas, influenciando processos metabólicos e a saúde da planta (HAVLIN et al., 2014). Tem um papel fundamental na produção de grãos de alta qualidade. Auxilia na formação de proteínas nos grãos, o que é crucial para a nutrição tanto humana quanto animal. O enxofre também está associado à resistência das plantas a doenças e ao metabolismo de outros nutrientes.

O Zn para o milho é essencial para sistemas enzimáticos da planta, controlando a produção de importantes reguladores de crescimento. A função básica está relacionada

ao metabolismo de carboidratos e proteínas, de fosfatos e também na formação de auxinas, RNA e ribossomos (THORNE, 1957; DECHEN et al. 1991).

O Boro (B) é especialmente importante durante a floração e a formação dos grãos. É um fator-chave na formação dos órgãos reprodutivos e na viabilidade do pólen, garantindo a fertilidade e o rendimento dos grãos. Uma adequada disponibilidade de B é crucial para garantir uma produção satisfatória de milho e a formação de espigas com grãos bem desenvolvidos. Papel vital na integridade da parede celular, no metabolismo de carboidratos e na translocação de açúcares. Além disso, está envolvido na síntese de nucleotídeos, no transporte de elétrons e na formação de RNA, sendo essencial para o crescimento e a reprodução das plantas (BROWN, 1995).

O Zn, um micronutriente para o milho, é essencial para sistemas enzimáticos da planta, controlando a produção de importantes reguladores de crescimento. A função básica está relacionada ao metabolismo de carboidratos e proteínas, de fosfatos e também na formação de auxinas, RNA e ribossomos (THORNE, 1957; DECHEN et al. 1991).

A falta ou excesso de qualquer um desses nutrientes pode levar a desequilíbrios nutricionais e afetar negativamente o desenvolvimento da planta de milho. Como o excesso de K pode levar a problemas de absorção de outros nutrientes essenciais, como o Magnésio (Mg) e o Cálcio (Ca), desequilibrando a relação entre os nutrientes. O excesso de K também pode causar salinização do solo, afeta a osmose e prejudica a absorção de água pela planta. Isso pode resultar em sintomas de deficiência de outros nutrientes, mesmo quando estão presentes em quantidade suficiente no solo (MARSCHNER, P. 2012).

2.5 Recomendações nutricionais para a cultura do milho

A diagnose foliar é uma ferramenta valiosa que fornece informações detalhadas sobre a composição mineral das folhas das plantas, permitindo ajustes precisos nas práticas de adubação, com um papel crucial na avaliação do estado nutricional das plantas e na identificação de possíveis deficiências de nutrientes (NACHTIGALL, 2007).

Para realizar a diagnose foliar, amostras de folhas são coletadas em um estágio de desenvolvimento específico da cultura e enviadas para análise laboratorial. A partir das concentrações de nutrientes nas folhas, os resultados podem indicar se as plantas

estão recebendo a quantidade adequada de nutrientes essenciais. Além disso, a diagnose foliar pode destacar desequilíbrios nutricionais e deficiências específicas de nutrientes, como N, P, K ou micronutrientes, que podem ser corrigidos por meio de estratégias de adubação direcionadas. (EMBRAPA 2022).

Diversos métodos e referências podem ser usados na interpretação dos resultados da diagnose foliar, sendo um deles o uso de valores de referência para teores adequados de nutrientes nas plantas, que podem variar de acordo com a cultura e a região. Além disso, a análise dos resultados deve considerar os estágios de desenvolvimento da cultura, já que as demandas nutricionais podem variar ao longo do ciclo de crescimento (NACHTIGALL, 2007).

A partir de estudos realizados, atualmente temos à disposição orientações precisas sobre os níveis de macro e micronutrientes ideais para diferentes culturas. Essas recomendações delineiam faixas que nos auxiliam a avaliar o equilíbrio nutricional das plantas, permitindo identificar deficiências ou excessos de nutrientes.

Figura 1. Faixas de suficiência de macronutrientes¹ (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes² (Fe, Cu, Mn, Zn e B) interpretadas como faixa: deficiente, adequada e excessiva, obtidas em lavouras comerciais de milho na região do Alto Paranaíba, MG, nas safras 2011-2012 e 2012-2013

Nutriente	Faixa			Malavolta et al. (1997) ³
	Deficiente	Adequada	Excessiva	
	g kg ⁻¹			
N	< 34,7	35,0-40,3	> 40,3	27,5-32,5
P	< 3,3	3,3-3,8	> 3,8	2,5-3,5
K	< 22,7	22,7-28,9	> 28,9	17,5-22,5
Ca	< 4,4	4,4-6,2	> 6,2	2,5-4,0
Mg	< 1,6	1,6-2,2	> 2,2	2,5-4,0
S	< 2,1	2,1-3,0	> 3,0	1,5-2,0
	mg kg ⁻¹			
Fe	< 122,5	122,5-219,7	> 219,7	50,0-250,0
Cu	< 9,1	9,1-14,1	> 14,1	6,0-20,0
Mn	< 17,5	17,5-49,1	> 49,1	50,0-150,0
Zn	< 17,6	18,0-34,1	> 34,1	15,0-50,0
B	< 8,9	8,9-17,7	> 17,7	15,0-20,0

Fonte: GOTT, et al (2013)

Na figura apresentada acima, são apresentados os teores recomendados para a cultura do milho e é evidente a atualização em comparação aos estudos de Malavolta. Nota-se que, em sua maioria, os teores considerados adequados para os nutrientes tiveram uma alteração nos valores, exigindo maiores quantidades de nutrientes para atender às demandas da agricultura moderna. Isso reflete os avanços na agricultura e na genética de plantas, que permitem uma produção agrícola mais intensiva e de maior produtividade em comparação com o cenário de 1997.

3.MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 4, sendo três tipos de solos e quatro doses de adubação, com três repetições por tratamento, totalizando 36 parcelas experimentais. A unidade experimental foi formada por um vaso contendo 3,5 dm³ de solo e duas plantas de milho (*Zea mays L.* híbrido BM 915 PRO). Os tratamentos foram compostos pelo controle (sem aplicação de nutrientes), dose recomendada segundo Malavolta, (1981) (100% Malavolta), metade da dose recomendada por Malavolta, (1981) (50% Malavolta) e dose recomendada seguindo análise de solo e recomendação para a cultura pelo Boletim 100 (Cantarella et al,2022).

3.2 Local e condições de cultivo

O experimento foi realizado em vasos, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em Lavras – MG, Brasil. Foram utilizados três tipos de solo com texturas contrastantes: Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura muito argilosa, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd), textura média, e Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura argilosa. (EMBRAPA, 2013). Os solos foram coletados em campo não cultivado sob vegetação natural. Os solos coletados foram secos ao ar e peneirados em malha de quatro mm de abertura e subamostras foram separadas para caracterizações físicas e químicas (EMBRAPA, 1997), apresentadas a seguir:

Solo tipo 1 - LVd: pH = 5,3; K = 19,68 mg dm⁻³, P = 23,85 mg dm⁻³, Ca = 0,59 cmolc dm⁻³, Mg = 0,08 cmolc dm⁻³, Al = 0 cmolc dm⁻³, H + Al = 14,45 cmol dm⁻³, SB = 0,18 cmolc dm⁻³, t = 0,18 cmolc dm⁻³, T = 1,56 cmolc dm⁻³, V = 7,51%, m = 0%, MO = 0,99 dag kg⁻¹. Classificação do Solo: Solo tipo 1 - textura muito argilosa, com 724 g kg⁻¹ de argila, 78 g kg⁻¹ de silte e 198 g kg⁻¹ de areia. pH em água, KCl, e CaCl₂ (relação 1:2:5), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al) – extrator: KCl 1 mol L⁻¹, SB: Soma de Bases Trocáveis, t: Capacidade de Troca Catiônica efetiva, T: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7, m: Índice de Saturação de Al, P-Rem: Fósforo Remanescente, enxofre (S) – extrator: Fosfato monocálcio em ácido acético, Fósforo (P), Potássio (K), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobre (Cu) – extrator: Mehlich 1, H + Al –

Extrator: SMP, V: Índice de Saturação de Bases, Matéria Orgânica (MO) – oxidação: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 4N + H_2SO_4 10N, Boro (B): água quente.

Solo tipo 2 - LVAd: pH = 4,9; K = 42,38 mg dm⁻³, P = 0,01 mg dm⁻³, Ca = 2,13 cmolc dm⁻³, Mg = 0,25 cmolc dm⁻³, Al = 0,10 cmolc dm⁻³, H + Al = 2,80 cmol dm⁻³, SB = 2,49 cmolc dm⁻³, t = 2,59 cmolc dm⁻³, T = 5,29 cmolc dm⁻³, V = 47,04%, m = 3,86%, MO = 1,33 dag kg⁻¹, Zn = 0,30 mg dm⁻³, Fe = 25,20 mg dm⁻³, Mn = 4,50 mg dm⁻³, Cu = 0,86 mg dm⁻³, B = 0,05 mg dm⁻³, S = 2,60 mg dm⁻³, Classificação do Solo: Solo tipo 2 - textura média, com 280 g kg⁻¹ de argila, 40 g kg⁻¹ de silte e 680 g kg⁻¹ de areia. pH em água, KCl, e CaCl_2 (relação 1:2:5), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al) – extrator: KCl 1 mol L⁻¹, SB: Soma de Bases Trocáveis, t: Capacidade de Troca Catiônica efetiva, T: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7, m: Índice de Saturação de Al, P-Rem: Fósforo Remanescente, enxofre (S) – extrator: Fosfato monocálcio em ácido acético, Fósforo (P), Potássio (K), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobre (Cu) – extrator: Mehlich 1, H + Al – Extrator: SMP, V: Índice de Saturação de Bases, Matéria Orgânica (MO) – oxidação: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 4N + H_2SO_4 10N, Boro (B): água quente.

Solo tipo 3 - LVdf: pH = 4,6; K = 18,73 mg dm⁻³, P = 0,1 mg dm⁻³, Ca = 0,39 cmolc dm⁻³, Mg = 0,14 cmolc dm⁻³, Al = 0,3 cmolc dm⁻³, H + Al = 6,20 cmol dm⁻³, SB = 0,58 cmolc dm⁻³, t = 0,88 cmolc dm⁻³, T = 6,78 cmolc dm⁻³, V = 8,53%, m = 34,09%, MO 2,67 dag kg⁻¹, Zn = 0,70 mg dm⁻³, Fe = 30,10mg dm⁻³, Mn = 2,00 mg dm⁻³, Cu = 1,64 mg dm⁻³, B = 0,04 mg dm⁻³, S = 2,30 mg dm⁻³, Classificação do Solo: Solo tipo 3 - textura argilosa, com 670 g kg⁻¹ de argila, 130 g kg⁻¹ de silte e 200 g kg⁻¹ de areia. pH em água, KCl, e CaCl_2 (relação 1:2:5), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al) – extrator: KCl 1 mol L⁻¹, SB: Soma de Bases Trocáveis, t: Capacidade de Troca Catiônica efetiva, T: Capacidade de Troca Catiônica a pH 7, m: Índice de Saturação de Al, P-Rem: Fósforo Remanescente, enxofre (S) – extrator: Fosfato monocálcio em ácido acético, Fósforo (P), Potássio (K), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobre (Cu) – extrator: Mehlich 1, H + Al – Extrator: SMP, V: Índice de Saturação de Bases, Matéria Orgânica (MO) – oxidação: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 4N + H_2SO_4 10N, Boro (B): água quente.

Com base na análise química, foi realizada a correção do solo, incorporando o carbonato de cálcio p.a. e carbonato de magnésio p.a. (proporção estequiométrica de 4:1 entre Ca e Mg, respectivamente) em 5 dm³ de solo em cada vaso, visando elevar a

saturação por bases a 60%. Após incubação do solo por 30 dias, com uma umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP).

3.3 Tratamentos

Após o período de incubação do solo, foram aplicados os tratamentos nas diferentes doses: 1) recomendação de Malavolta (1981): 300 mg dm⁻³ de N, 200 mg dm⁻³ de P e 150 mg dm⁻³ de K, 50 mg dm⁻³ de S e micronutrientes na dosagem de 0,5 mg dm⁻³ de B e 5 mg dm⁻³ de Zn; 2) metade da dose recomendada por Malavolta (1981) - 150 mg dm⁻³ de N, 100 mg dm⁻³ de P, 75 mg dm⁻³ de K, 25 mg dm⁻³ de S, 0,25 mg dm⁻³ de B e 2,5 de Zn; 3) recomendação seguindo análise de solo e cultura por meio do Boletim técnico IAC 100: 110 mg dm⁻³ de N, 26 mg dm⁻³ de P, 50 mg dm⁻³ de K, 20mg dm⁻³ de S, 1,0 mg dm⁻³ B e 2,0 mg dm⁻³ de Zn; 4) Controle (sem aplicação).

Em todos os tratamentos as doses de N foram divididas em três aplicações na proporção de 30%, 35% e 35%, as doses de K foi parcelada em duas vezes iguais, o P foi aplicado no plantio e a dose de micronutrientes em solução na primeira adubação de cobertura. As fontes utilizadas foram ureia, superfosfato triplo, cloreto de potássio, sulfato de cálcio, ácido bórico e sulfato de zinco. A primeira adubação de cobertura ocorreu no estágio de V2 a V3 do milho e a segunda entre V6 e V7. Durante todo o período experimental a umidade do solo foi mantida a 60% do VTP, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada.

A colheita da parte aérea foi realizada aos 50 dias após o plantio. A altura das plantas (cm) foi obtida pela média da altura das duas plantas. As partes aéreas das plantas foram secas em estufa (65 °C), pesadas, moídas e submetidas para análises químicas para quantificação dos nutrientes.

3.4 Determinação dos elementos

O teor total de N foi determinado pelo método de Kjeldahl (MALAVOLTA *et al.*, 1997). As amostras vegetais foram submetidas à digestão nitro-perclórica e os extratos analisados para quantificação dos teores de P, K, S, B e Zn por meio do espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES).

O acúmulo dos nutrientes também foram calculados e obtidos multiplicando a MSPA (Massa Seca da Parte Aérea) pelo teor do nutriente que está sendo analisado.

3.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$), e quando significativo as médias serão comparadas por meio do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas no SISVAR (Ferreira, 2019).

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa seca da parte aérea e altura de plantas

Foi observado diferença significativa na massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos tipos de solo e doses de adubação. Como esperado, o controle apresentou as menores massas independente do solo.

Tabela 1. Massa seca da parte aérea em função das diferentes doses de adubação.

Tratamento	MSPA (g kg ⁻¹)					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	10	b	10	c	10,93	d
100%M	11	b	35,45	b	54,27	a
50%M	17,63	a	47,48	a	47,29	b
Boletim 100	9,05	b	51,77	a	24,53	c

O LVd apresentou uma MSPA média de 11,92 g planta⁻¹. O LVAd apresentou maior produção com a aplicação de 100% da dose recomendada por Malavolta,

enquanto o LVdf apresentou maior produção de MSPA com a aplicação de 50% da dose recomendada por Malavolta e pela dose recomendada pelo Boletim 100.

Os dados de altura das plantas, medidos em centímetros, representam a resposta das plantas a diferentes tratamentos de adubação em diferentes tipos de solo (LVd, LVdf e LVAd). Observando os resultados, é evidente que tanto o tipo de solo quanto a dose de adubação desempenham um papel significativo no crescimento das plantas.

Tabela 2. Altura das plantas em função das diferentes doses de adubação.

Tratamento	Altura (cm)					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	10,66	c	14	d	17	c
100%M	19	b	60,27	c	80,73	a
50%M	35,5	a	93,33	a	77,73	a
Boletim 100	13,5	c	77,33	b	51	b

No solo tipo LVd, as plantas do tratamento 50% da dose de Malavolta apresentaram maior altura (35,5 cm), seguidas pelo tratamento 100% da dose (19 cm). O solo tipo LVdf mostrou um padrão semelhante, onde o tratamento 50% da dose resultou na maior altura (93,33 cm), seguido pelo tratamento 100% da dose (60,27 cm). No solo LVAd, o tratamento 100% da dose destacou-se com a maior altura (80,73 cm), seguido pelo tratamento de 50% da dose (77,73 cm).

Pode-se observar que, no caso do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), os resultados de produtividade, incluindo massa seca da parte aérea (MSPA) e altura das plantas, apresentaram os valores mais baixos. Essa redução no desempenho pode ser atribuída à textura excessivamente argilosa do solo, que pode ter limitado o crescimento vegetativo das plantas de milho devido à elevada concentração de argila no substrato, causando a compactação que reduz da disponibilidade de oxigênio e água e o aumento da resistência do solo ao crescimento radicular (CAVALIERI et al., 2006).

4.2 Teor de nutrientes

Foi realizada a análise das folhas das plantas, visando à quantificação dos teores de macro e micronutrientes. Com base nesses valores, procedeu-se à análise estatística, investigando a relação entre os níveis de nutrientes e as distintas doses de adubação aplicadas. Os dados pertinentes à análise de variância foram compilados e estão apresentados nos gráficos a seguir.

4.2.2 Macronutrientes

4.2.2.1 Teor de Nitrogênio

Na tabela 3 estão representados em g/vaso^{-1} os teores de N em função das diferentes doses de adubação e dos diferentes tipos de solo.

A concentração de N apresentou um crescimento praticamente linear nos tratamento controle.

Tabela 3. Teores de Nitrogênio em g kg^{-1}

Tratamento	Nitrogênio (g kg^{-1})					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	18,69	c	21,39	b	24,58	a
100%M	50,86	a	26,04	a	22,92	a
50%M	43,62	b	21,39	c	16,51	b
Boletim 100	39,98	b	11,68	d	18,94	b

A presença de uma quantidade relativamente elevada de N no solo LVd, no qual apresentou uma produção de matéria seca abaixo comparado aos outros solos, pode ser atribuída, provavelmente, ao efeito de diluição, em que com menor produção de matéria seca de plantas de milho proporcionou maiores concentrações deste nutriente no tecido vegetal. Esse efeito ocorre quando a menor produção de matéria seca nas plantas de milho resulta em maiores concentrações de nitrogênio no tecido vegetal. É importante destacar que, apesar das concentrações mais altas desses nutrientes, os valores mais baixos de altura e massa seca reforçam a influência do efeito de diluição no contexto do estudo. Para esclarecer o efeito da diluição, também foram desenvolvidas tabelas que representam o acúmulo.

Tabela 4. Acúmulo de Nitrogênio em mg planta¹

Tratamento	Acúmulo de Nitrogênio					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	187,28	d	214,19	c	269,19	d
100%M	558	b	917,13	a	1244,72	a
50%M	769,41	a	824,15	a	779,36	b
Boletim 100	360,8	c	604,95	b	463	c

Ao analisar o acúmulo de N, observa-se elevadas concentrações de N nos tratamentos com 100% e 50% da dose preconizada por Malavolta. Nota-se no solo LVAd, o tratamento com 100% da dose apresentou teores alcançando até 1244,72 mg/planta. Esses resultados sugerem uma correlação entre os níveis de N e o significativo crescimento das plantas de milho, conforme evidenciado pelos dados de MSPA e altura. Essa relação é atribuída ao papel essencial do N no estímulo ao crescimento vegetativo das plantas e na sua participação ativa no processo de fotossíntese (BORTOLINI, 2002).

Na tabela 5 estão representados os valores de acúmulo de nitrogênio na planta de milho encontrados por outros autores no estágio de V10 a V12, com 51 dias após a emergência (DAE). É possível fazer uma comparação com os valores encontrados neste trabalho.

Tabela 5. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea do milho.

Estudos	Nitrogênio
	g kg ⁻¹
Silva et al. ¹ (2018)	16,6
Pinho et al. ² (2009)	11

Duarte et al.³(2003)	11,9
Bender et al.⁴ (2013)	7,8

¹ Média de quatro híbridos de milho em níveis de fertilidade média e alta; população de 70.000 plantas ha⁻¹, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil.

² Média de duas cultivares de milho; população de 60.000 plantas ha⁻¹, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

³ Média de três cultivares de clima tropical; população de 55.000 plantas ha⁻¹, Palmital, São Paulo, Brasil.

⁴ Média de seis híbridos produzidos em duas localidades, população de 84 mil plantas ha⁻¹, Illinois, Estados Unidos da América.

Os valores obtidos neste estudo superaram significativamente as referências de outros estudos, alcançando até 50,86 g/kg de N. No entanto, é importante destacar que todos os estudos de referência foram conduzidos em campo, o que pode explicar a disparidade nos valores que podem ter sofrido com a mobilidade no N em campo, dependendo da fonte utilizada e da forma de aplicação.

Ao observar os solos que registraram maiores valores de MSPA (Massa Seca da Parte Aérea) e altura, é possível considerar que os valores que mais se aproximaram da tabela apresentada foram os do tratamento de 50% da dose de Malavolta.

4.2.2.2 Teor de Fósforo

Na tabela 6 é possível observar os teores de fósforo (P) em g kg⁻¹, sobressaindo um alto teor de P no solo LVd.

Tabela 6. Teores de Fósforo em g kg⁻¹

Tratamento	Fósforo (g kg ⁻¹)					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	0,64	c	0,78	a	1,59	a
100%M	5,5	a	1,2	a	1,4	b
50%M	2,4	b	1,55	a	1,27	b
Boletim 100	3,1	b	1,76	a	0,63	b

A concentração elevada de P no solo LVd, de textura muito argilosa, pode ser explicada pelo solo já apresentar teores de P mais altos que os outros, contendo 23,85 mg dm⁻³ de P.

Na tabela 7, apresentada abaixo, é exibido o acúmulo de P em mg planta⁻¹. Nota-se que o grupo controle demonstra níveis relativamente baixos, variando entre 6 e 18 mg planta⁻¹.

Tabela 7. Acúmulo de Fósforo em mg planta¹

Tratamento	Acúmulo de Fósforo					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	6,5	d	7,78	b	17,5	c
100%M	59,86	a	41,82	b	76,16	a
50%M	42,33	b	74,77	a	59,9	b
Boletim 100	27,9	c	90,37	a	15,48	c

Um aspecto a ser considerado é o acúmulo de P no solo LVdf, especialmente no tratamento com a dose recomendada pela cultura conforme o Boletim 100. Esse resultado destaca tanto um elevado teor de nutriente quanto um excelente valor de MSPA. É interessante observar que, nesse tratamento, a dose de fósforo foi apenas de 26 mg dm⁻³, em comparação com a dose de 100% de Malavolta, que apresenta 200 mg dm⁻³ de P, e a de 50% da dose de Malavolta, com 100 mg dm⁻³.

A partir da Tabela 8, é evidente que os valores de referência se alinham mais com os resultados encontrados para o nutriente P. Os tratamentos 100%, 50% e Boletim 100 estão dentro da faixa dos valores dos estudos mencionados, com exceção do tratamento Boletim 100 no solo LVad, que apresentou 0,67 g/kg, e do tratamento 100% no solo LVd, que registrou 5,5 g/kg de P.

Tabela 8. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea do milho.

Estudos	Fósforo
	g kg ⁻¹
Silva et al. ¹ (2018)	3,5
Pinho et al. ² (2009)	3,4
Duarte et al. ³ (2003)	1,6
Bender et al. ⁴ (2013)	2,4

¹ Média de quatro híbridos de milho em níveis de fertilidade média e alta; população de 70.000 plantas ha⁻¹, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil.

² Média de duas cultivares de milho; população de 60.000 plantas ha⁻¹, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

³ Média de três cultivares de clima tropical; população de 55.000 plantas ha⁻¹, Palmital, São Paulo, Brasil.

⁴ Média de seis híbridos produzidos em duas localidades, população de 84 mil plantas ha⁻¹, Illinois, Estados Unidos da América.

A adequação dos valores aos tratamentos que foram conduzidos em campos com o conduzido em casa de vegetação pode ser explicada pela característica natural de imobilidade do P no solo (MARSCHNER, 2002; COSTA ET AL, 2009).

O tratamento mais comparável em termos de valores está sendo o de 50% da dose de Malavolta, apresentando valores mais próximos dentro da faixa de referência.

4.2.2.3 Teor de Potássio

Tabela 9. Teor de Potássio em g kg⁻¹

Tratamento	Potássio (g kg ⁻¹)					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	13,62	b	36,49	a	41,88	a
100%M	38,02	a	14,77	b	12,88	b
50%M	37,22	a	12,28	b	11,73	b
Boletim 100	34,31	a	9,27	b	14,58	b

Os teores de K, visualizados na tabela acima, também evidenciam de maneira clara o efeito de diluição, em que com menor produção de matéria seca de plantas de milho proporcionou maiores concentrações de P no tecido vegetal.

Tabela 10. Acúmulo de Potássio em mg planta⁻¹

Tratamento	Acúmulo de Potássio					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	137,13	c	364,74	a	456,29	a
100%M	417,93	b	520	a	693,14	a
50%M	655,6	a	589,26	a	547,7	a
Boletim 100	310	b	478	a	357,54	a

A planta de milho demonstrou teores mais elevados nos tratamentos com 100% e 50% da dose preconizada por Malavolta, com a aplicação de 150 e 75 mg/dm³ de K, respectivamente. O solo LVAd na análise química tinha uma quantidade de 42,38 mg dm³ de K, enquanto os solos LVd continha 19,68 mg dm³ e o LVdf 18,73 mg dm³ de nutrientes já presentes no solo, LVAd com quase o dobro do teor do nutriente.

Todos os tratamentos se encontravam dentro da faixa de valores apresentada na Tabela 11, exceto pelo tratamento controle, além de todas as parcelas no solo LVd, que registraram valores mais elevados.

Tabela 11. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea do milho.

Estudos	Potássio (g kg ¹)
	g kg ⁻¹
Silva et al. ¹ (2018)	14,2
Pinho et al. ² (2009)	14,6

Duarte et al.³ (2003)	12,5
Bender et al.⁴ (2013)	17,3

¹ Média de quatro híbridos de milho em níveis de fertilidade média e alta; população de 70.000 plantas ha⁻¹, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil.

² Média de duas cultivares de milho; população de 60.000 plantas ha⁻¹, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

³ Média de três cultivares de clima tropical; população de 55.000 plantas ha⁻¹, Palmital, São Paulo, Brasil.

⁴ Média de seis híbridos produzidos em duas localidades, população de 84 mil plantas ha⁻¹, Illinois, Estados Unidos da América.

O tratamento com 100% da dose de Malavolta demonstrou valores mais próximos aos encontrados pelos autores.

4.2.2.4 Teor de Enxofre

A tabela abaixo apresenta os teores de S em g kg⁻¹, destacando maiores concentrações do nutriente no solo LVd, exceto no controle.

Tabela 12. Teor de Enxofre em g kg⁻¹

Tratamento	Enxofre (g kg ⁻¹)					
	LVd		LVdf		LVAd	S
Controle	0,81	c	1,39	a	1,48	a
100%M	1,78	b	1,25	a	1,18	b
50%M	2,58	a	0,9	a	1,16	b
Boletim 100	1,52	b	0,71	a	1,02	b

No solo LVdf, não foram observadas diferenças significativas entre as doses aplicadas nos tratamentos. As doses eram de 50, 25 e 20 mg/dm⁻³ de S para os tratamentos 100%, 50% da dose por Malavolta e a recomendação do Boletim 100, respectivamente.

Tabela 13. Acúmulo de Enxofre em mg planta⁻¹

Tratamento	Acúmulo de Enxofre					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	8,18	c	13,87	b	16,1	b

100%M	19,61	b	43,91	a	63,62	a
50%M	45,51	a	43,24	a	54,92	a
Boletim 100	13,77	c	36,64	a	25	b

No acúmulo, conforme esperado, destacam-se valores mais elevados nos solos LVdf e LVAd, os quais apresentaram maiores quantidades de massa seca da parte aérea (MSPA). Os tratamentos com 100% e 50% da dose preconizada por Malavolta mostraram maiores acúmulos do nutriente.

Os tratamentos do solo LVdf e LVAd de todos os tratamentos, exceto o controle, mostraram estar de acordo com a faixa da tabela 14. O solo LVd obteve valores acima, atingindo o valor de 2,58 g kg⁻¹, mas não demonstrando uma discrepância muito grande dos valores abaixo apresentados.

Tabela 14. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea do milho.

Estudos	Enxofre
	g kg ⁻¹
Silva et al. ¹ (2018)	0,9
Pinho et al. ² (2009)	1,0
Duarte et al. ³ (2003)	0,7
Bender et al. ⁴ (2013)	0,7

¹ Média de quatro híbridos de milho em níveis de fertilidade média e alta; população de 70.000 plantas ha⁻¹, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil.

² Média de duas cultivares de milho; população de 60.000 plantas ha⁻¹, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

³ Média de três cultivares de clima tropical; população de 55.000 plantas ha⁻¹, Palmital, São Paulo, Brasil.

⁴ Média de seis híbridos produzidos em duas localidades, população de 84 mil plantas ha⁻¹, Illinois, Estados Unidos da América.

4.2.3 Micronutrientes

4.2.3.1 Teor de Boro

Os níveis mais elevados de B, em relação aos tratamentos, são evidentes no tratamento com 50% da dose de Malavolta. Em contrapartida, se destaca também o tratamento controle com altos valores, para uma análise mais abrangente desses resultados, a tabela 15 abaixo, oferece uma representação visual dos níveis de acumulação de B.

Tabela 15. Teor de Boro em mg kg¹

Tratamento	Boro (mg kg ¹)					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	15	c	49,88	a	38,61	a
100%M	23,17	b	18,78	c	20,75	c
50%M	35,83	a	42,94	b	26,16	b
Boletim 100	22,87	b	18,79	c	29,92	b

É interessante observar que o tratamento 50% da dose de Malavolta apresentou a menor dosagem de B, 0,25 mg dm⁻³, o que nos sugere que quantidades mais baixas de B podem ser suficientes para atender às necessidades da cultura. De acordo com Gupta et al. (1985) e Goldberg (1997), é importante destacar que o intervalo de concentração de B, variando da deficiência à toxicidade, é bem mais estreito em comparação com outros nutrientes essenciais.

Tabela 16. Teores de Acúmulo de Boro em ug planta¹

Tratamento	Acúmulo de Boro					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	149,7	b	499,39	b	421,79	c
100%M	255,66	b	668,64	b	1128,99	a
50%M	632	a	2046,76	a	1236,53	a
Boletim 100	208	b	971	b	734,19	b

É perceptível na Tabela 17 os valores de B nas plantas, e observa-se que os resultados deste estudo excederam consideravelmente a faixa entre os valores fornecidos pelos dois autores mencionados, chegando a atingir níveis de 49,88 mg kg⁻¹ de B. A baixa quantidade encontrada pelos autores pode ser explicada pela alta mobilidade do nutriente, permitindo uma lixiviação no solo (BOARETTO et al, 2008). Além disso, o fato de este estudo ter sido conduzido em vasos em casa de vegetação pode ter evitado a alta lixiviação, resultando nos valores elevados do micronutriente.

Tabela 17. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea do milho.

Estudos	Boro
	mg kg ⁻¹
Duarte et al. ¹ (2003)	10,6
Bender et al. ² (2013)	11,3

¹ Média de três cultivares de clima tropical; população de 55.000 plantas ha⁻¹, Palmital, São Paulo, Brasil.

² Média de seis híbridos produzidos em duas localidades, população de 84 mil plantas ha⁻¹, Illinois, Estados Unidos da América.

Pode-se afirmar que o tratamento que mais se assemelhou aos valores apresentados na faixa de 10,6 a 11,3 foi o tratamento com 100% da dose de Malavolta.

4.2.3.2 Teor de Zinco

No solo LVD, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao micronutriente Zn.

Tabela 18. Teor de Zinco em mg kg⁻¹

Tratamento	Zinco (mg kg ⁻¹)					
	LVD		LVdf		LVAd	
Controle	15	c	49,88	a	38,61	a
100%M	23,17	b	18,78	c	20,75	c

50%M	35,83	a	42,94	b	26,16	b
Boletim 100	22,87	b	18,79	c	29,92	b

No entanto, destaca-se um valor expressivo no solo LVdf, especificamente no tratamento com 100% da dose de Malavolta, o qual continha uma concentração de 5 mg dm⁻³ de Zn. Em comparação, os outros tratamentos, com 50% da dose de Malavolta e seguindo a recomendação do Boletim 100, possuíam concentrações de 2,5 mg/dm³ e 2 mg/dm³, respectivamente.

Tabela 19. Acúmulo de Zinco em ug planta ¹

Tratamento	Acúmulo de Zinco					
	LVd		LVdf		LVAd	
Controle	75,96	b	590,6	b	348,7	b
100%M	113,9	b	2131,95	a	690,95	a
50%M	201,76	a	981,91	b	801,41	a
Boletim 100	86,5	b	1168,29	b	320,59	b

Mesmo após a visualização do gráfico que representa o acúmulo do micronutriente Zn, é evidente a presença de valores elevados no solo LVdf, especialmente na dose de 100% preconizada por Malavolta. Essa concentração significativa de Zn pode ter contribuído para um crescimento expressivo das plantas de milho, uma vez que o Zn desempenha um papel crucial na regulação do crescimento e desenvolvimento, estando envolvido na produção de hormônios de crescimento (THORNE, 1957; DECHEN ET AL, 1991).

O valor máximo encontrado pelos autores na Tabela 20 foi de 16,5 mg kg⁻¹, enquanto neste estudo foram identificados valores elevados, como 59 e 60,72 mg kg⁻¹, encontrados no solo LVad.

Tabela 20. Acúmulo de macronutrientes na parte aérea do milho.

Estudos	Zinco mg kg ⁻¹
Duarte et al.¹ (2003)	16,5
Bender et al.² (2013)	5,6

¹ Média de três cultivares de clima tropical; população de 55.000 plantas ha⁻¹, Palmital, São Paulo, Brasil.

² Média de seis híbridos produzidos em duas localidades, população de 84 mil plantas ha⁻¹, Ilinois, Estados Unidos da América.

Para o micronutriente Zn os valores que mais se aproximaram ao dos autores foi o do tratamento do Boletim 100.

5.CONCLUSÕES

No contexto do desenvolvimento da planta de milho, o tratamento com 50% da dose baseada em Malavolta (1981) apresentou melhor desenvolvimento. Considerando os nutrientes, em sua maioria, tratamento com 50% da dose apresentou melhores respostas. Dessa maneira, com base nos resultados obtidos, é possível concluir que o tratamento de 50% da dose baseada em Malavolta (1981) se destaca como a melhor opção testada neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, J. F.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. 2014.

BENDER, R. R., J. W. HAEGLE, M. L. RUFFO; F. E. BELOW. 2013. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**

BORTOLINI, C. G. et al. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 361-366, 2002.

BROWN, P. H.. Boron in Soils and Plants: Reviews. In A. D. Robson (Ed.), **Boron in Soils and Plants: Developments in Plant and Soil Sciences** (Vol. 58, pp. 85-90). Springer. 1995

CANTARELLA, H. et al. **BOLETIM 100: RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA O ESTADO DE SÃO PAULO**. Edição 2022. Campinas. Instituto Agrônomo, 2022.

CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; COSTA, A.C.S. da. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.137-147, 2006.

COELHO, A. M.. **Nutrição e adubação do milho**. 2006.

CRUZ, J. C.; Pereira F, I. A.; P.. **Importância da produção do milho orgânico para a agricultura familiar** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

CRUZ, J. C. et al. **Manejo da cultura do milho**. 2006.

DA ROS, C. O; et al. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, p. 799-804, 2003.

DUARTE, A. P., J. C. Kiehl, A. F. Camargo, and P. C. Reco. 2003. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperadas. **Revista Brasileira De Milho e Sorgo** 2 (3):1–20. doi:10.18512/1980-6477/rbms.v2n03p%25p

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, p.212, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Brasília: Embapa. 3ª edição revista e atualizada. 353p. 2013

FAGERIA, N. K.. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 2, p. 6-16, 1998.

FANCELLI, A. L; DOURADO N, D. **Fisiologia do Milho: Bases para o Manejo**. Editora Agropecuária, Guaíba. 2000.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. **Lavras: UFLA/Faepe**, v. 183, 2005.

FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 432 p, 2006

FERNANDES, P. M. Melhoramento de plantas de milho. **Embrapa Milho e Sorgo**. Documentos, 1. 2003.

FRANÇA, W. D. M. S. **Desenvolvimento inicial de milho (zea mays) a partir de aplicações de micronutrientes e extrato de algas**. 2022.

GONÇALVES, J. L. M *et al.* **Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 13, p. 13-24, 1989.

GOTT, R. M. *et al.* **Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering, v. 18, n. 11, p. 1110–1115, 2014.

HAVLIN, J. L. *et al.* **Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management** (8th ed.). Pearson. 2014

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. **Informação agronômica sobre nutrientes para as plantas.** [S. l.], 2018

JAMAMI, N. **Efeito de boro e zinco na cultura do milho.** 2001.

KLEPKER, D; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, n. 1, p. 79-86, 1996.

LUZ, MJ da S.; FERREIRA, G. B.; BEZERRA, JRC. **Como aplicar os fertilizantes recomendados em sua lavouras.** 2003.

MACHADO, V. J; SOUZA, C. H. E. de. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Biosci. j.(Online)**, p. 1-7, 2012.

MALAVOLTA, E. **Adubos e adubações.** NBL Editora, 2015.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: CERES, p.251,1980.

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

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C,Oliveira, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: POTAFOS. 1997

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

MATTIELLO, E. M. *et al.* Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1281-1290, 2009.

MELO, A. S.; STAUT, L. A.; PARIZ, C. M. Características morfofisiológicas do sistema radicular de plantas de milho em resposta à compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(3), 1209-1216. 2008.

NACHTIGALL, G. R. **Diagnose foliar**. 2007.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D.; Lourenço, S. (Eds.). L. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, p. 189-253, 1991.

OLIVEIRA, A. C., ANDRADE, L. R., PENTEADO, S. R. (2005). Physiology and biochemistry of C4 photosynthesis in maize. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 17(3), 305-313.

OLIVEIRA, S. **Adubação com nitrogênio, fósforo e potássio para experimentos com cafeeiro em vasos**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, p. 63. 2005.

PINHO, R. G. V., I. D. BORGES, J. L. A. R. PEREIRA, M. C. REIS. 2009. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira De Milho e Sorgo**

SILVA, C. G. M., A. V. d RESENDE, A. M. GUTIÉRREZ, S. G. MOREIRA, E. BORGHI, G. O. ALMEIDA. Macronutrient uptake and export in transgenic corn under two levels of fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2018.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009

SILVA, J. F. da. **Lixiviação de boro em latossolo em função de fontes e doses**. 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TONELLO, L.P; TAVARES, T.C.D; SOUSA, S.A.; PEREIRA. J.C.S. Cultivares de arroz submetidos a estresse de fósforo em solos de cerrado. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.11, n.3, p. 13-17, 2017.

THORNE, N. Zinc deficiency and its control. **Adv. Agron.**, v.9, p. 31-61, 1957.

VIEIRA, W.; SILVA, F. C. Análises de fertilizantes minerais, organominerais e corretivos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica**, p. 235-395, 2009.

VITTI, G. C. **Adubação de culturas de interesse econômico: Soja – Café – Milho – Sorgo**. Piracicaba: Esalq. 150 p.

WILD, A. Plant nutrients in soil phosphate. In: WILD, A. (Ed.). **Russell's soil conditions and plant growth**. 11^a ed. Longman, New York p.695-42. 1988.

ZANÃO J, L. A. et al. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 389- 400, 2010

ZONTA, E, et al. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Brasília: Embrapa, p. 263-303, 2021.