

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE LINGUAGEM, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E SOCIAIS APLICADAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ZOOTECNIA

LUCAS GONÇALVES RIBEIRO

**ADUBAÇÕES A BASE DE MICRONUTRIENTE EM FORRAGENS**

PONTES E LACERDA – MT  
DEZEMBRO/2025

LUCAS GONÇALVES RIBEIRO

**ADUBAÇÕES A BASE DE MICRONUTRIENTE EM FORRAGENS**

“Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Coordenação do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ZOOTECNIA”.

Orientador(a): Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli.

Coorientador(a): Dra. Luiza Maria Pereira Pierangeli.

PONTES E LACERDA – MT  
DEZEMBRO/2025

Ficha catalográfica elaborada pela Supervisão de Bibliotecas da UNEMATCatalogação de Publicação na Fonte.  
UNEMAT - Unidade padrão

R484a Ribeiro, Lucas Gonçalves.

Adubações a Base de Micronutriente em Forragens / Lucas  
Gonçalves Ribeiro. - Cáceres, 2025.  
33f.: il.

Universidade do Estado de Mato Grosso "Carlos Alberto Reyes  
Maldonado", Zootecnia/PLC - Pontes e Lacerda - Bacharelado -  
Contínua, Campus Universitário De Pontes E Lacerda.

Orientador: Maria Aparecida Pereira Pierangeli.

Coorientador: Luiza Maria Pereira Pierangeli.

1. Pastagens. 2. Fertilidade do Solo. 3. Nutrição Mineral de  
Plantas. I. Pierangeli, Maria Aparecida Pereira. II. Pierangeli,  
Luiza Maria Pereira. III. Título.

UNEMAT / MTSCB

CDU 633.2

LUCAS GONÇALVES RIBEIRO

## ADUBAÇÕES A BASE DE MICRONUTRIENTE EM FORRAGENS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Coordenação do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

**APROVADO EM:** 10/12/2025

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA APARECIDA PEREIRA PIERANGELI**  
Data: 15/12/2025 18:51:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli.  
Orientadora/UNEMAT-Pontes e Lacerda

Documento assinado digitalmente  
 **LUIZA MARIA PEREIRA PIERANGELI**  
Data: 15/12/2025 18:49:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Luiza Maria Pereira Pierangeli  
Ciência do Solo

Documento assinado digitalmente  
 **VANDINELMA DE OLIVEIRA VIEIRA**  
Data: 15/12/2025 19:16:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Vandinelma de Oliveira Vieira  
Agronomia

Dedico este trabalho a toda minha família e aos meus amigos, que sem eles eu não chegaria aonde estou hoje!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por toda oportunidade, proteção e bênçãos em minha vida.

Sou imensamente grato a minha mãe Joana Dark Gonçalves Ribeiro por me motivar, incentivar e auxiliar desde sempre em minha vida, e em todo esse ciclo.

Agradeço a minha família, meu pai já falecido Edir Ribeiro, ao meu irmão Matheus Gonçalves Ribeiro, e a toda minha família que de alguma forma contribuiu para que eu pudesse chegar até aqui.

As minhas professoras e orientadoras, Maria Aparecida Pereira Pierangeli popularmente conhecida como Dedé, a professora Luiza Maria Pereira Pierangeli, agradeço por todo carinho, apoio, atenção e cuidado nesse final de ciclo.

Sou grato a cada professor que me orientou, e que contribuiu em minha formação, Compartilhando seus conhecimentos e suas experiências.

Agradeço a Universidade do Estado do Mato Grosso (Unemat), pela oportunidade de fazer o curso de Zootecnia, com profissionais capacitados e disponíveis em auxiliar a qualquer momento durante minha jornada acadêmica.

Sou grato aos meus amigos que fiz durante o curso, no qual me proporcionou momento incríveis, e fez com que essa trajetória pudesse ser mais tranquila e de certa forma leve.

Agradeço a cada pessoa que de forma direta ou indireta, conviveu comigo e contribuiu para que eu pudesse chegar até aqui.

Por último, deixo uma frase que me motivou durante a minha vida e em toda trajetória, e que traz um grande significado para mim. “E se amanhã acordarmos com tudo que nós agradecemos hoje, o que nós teríamos?!”.  
A tudo e a Todos, meu muito obrigado!

*“Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita, mas tu não serás atingido.”*

(Salmos 91:7)

## RESUMO

O trabalho aborda a importância dos micronutrientes no desenvolvimento de forrageiras, destacando sua função na produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção animal. As pastagens representam a base alimentar de herbívoros domésticos, e sua qualidade depende diretamente da fertilidade do solo e do manejo nutricional adequado. Entretanto, solos tropicais, especialmente de baixa fertilidade natural, apresentam teores reduzidos de micronutrientes como Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo e Cl, cuja deficiência compromete processos fisiológicos fundamentais das plantas. Este estudo teve como objetivo reunir e analisar informações disponíveis na literatura acerca do papel dos micronutrientes, dos sintomas de suas deficiências, das estratégias de correção e dos métodos de aplicação utilizados na adubação de pastagens. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica, contemplando artigos científicos, dissertações, livros técnicos e materiais institucionais publicados entre 1990 e 2025. A análise permitiu identificar que fatores como pH, textura, teor de matéria orgânica, mineralogia e interações entre nutrientes influenciam diretamente a disponibilidade dos micronutrientes no solo. Verificou-se ainda que práticas agrícolas inadequadas, como calagens excessivas e ausência de reposição nutricional, intensificam a ocorrência de deficiências de micronutrientes em forrageiras. Cada micronutriente apresenta sintomas específicos de deficiência, afetando processos como fotossíntese, respiração, síntese proteica, crescimento radicular e alongamento celular. As estratégias de manejo incluem o uso de fertilizantes via solo ou foliares, preferencialmente em formas de sais solúveis ou quelatizados, que apresentam maior eficiência agrônômica. Estudos relatados na literatura demonstram que o fornecimento adequado de micronutrientes aumenta o vigor das forrageiras, melhora a produção de biomassa e contribui para maior desempenho dos animais. Conclui-se que a adoção de práticas de adubação equilibradas, baseadas em análise de solo e diagnóstico visual, é fundamental para garantir a sustentabilidade produtiva das pastagens. Além disso, o entendimento das interações solo-planta-nutriente permite otimizar a eficiência das adubações e minimizar perdas, reforçando a importância dos micronutrientes no manejo moderno de forragens.

**Palavras-chave:** pastagens; fertilidade do solo; nutrição mineral de plantas.

## ABSTRACT

This study addresses the importance of micronutrients in the development of forage plants, emphasizing their role in the productivity and sustainability of animal production systems. Pastures constitute the primary feed source for domesticated herbivores, and their quality depends directly on soil fertility and proper nutritional management. However, tropical soils especially those with naturally low fertility commonly exhibit reduced levels of micronutrients such as Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo, and Cl, whose deficiencies compromise essential physiological processes in plants. The objective of this study was to compile and analyze information available in literature regarding the role of micronutrients, the symptoms of their deficiencies, correction strategies, and application methods used in pasture fertilization. The methodology was based on a literature review that included scientific articles, dissertations, technical books, and institutional materials published between 1990 and 2024. The analysis revealed that factors such as soil pH, texture, organic matter content, mineralogy, and nutrient interactions directly influence micronutrient availability in the soil. It was also observed that inadequate agricultural practices, such as excessive liming and the lack of nutrient replenishment, intensify the occurrence of deficiencies. Each micronutrient exhibits specific deficiency symptoms, affecting processes such as photosynthesis, respiration, protein synthesis, root growth, and cell elongation. Management strategies include the use of soil or foliar fertilizers, preferably in the form of soluble salts or chelated compounds, which provide greater agronomic efficiency. Studies cited in the literature demonstrate that adequate micronutrient supply increases forage vigor, enhances biomass production, and contributes to improved animal performance. It is concluded that adopting balanced fertilization practices, based on soil analysis and accurate diagnosis, is essential to ensure the productive sustainability of pastures. Furthermore, understanding soil plant–nutrient interactions optimize fertilization efficiency and minimizes losses, reinforcing the importance of micronutrients in modern forage management.

**Keywords:** soil fertility; forage plants; plant mineral nutrition.

## SUMÁRIO

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>10</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                              | <b>12</b> |
| 2.1 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES .....            | 15        |
| 2.1.1 Ferro .....                                               | 15        |
| 2.1.2 Zinco .....                                               | 16        |
| 2.1.3 Manganês.....                                             | 17        |
| 2.1.4 Boro.....                                                 | 17        |
| 2.1.5 Cobre .....                                               | 18        |
| 2.1.6 Molibidênio .....                                         | 19        |
| 2.2. ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE MICRONUTRIENTES EM FORRAGEM ..... | 21        |
| 2.3 MÉTODOS DE APLICAÇÃO .....                                  | 23        |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                              | <b>25</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                           | <b>26</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                              | <b>28</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de forrageiras representa uma das formas mais econômicas e sustentáveis de criação de animais de produção, especialmente de espécies herbívoras como bovinos, equinos, ovinos e caprinos (MOREIRA, 2002). Nesse contexto, as fibras e proteínas presentes na composição das forrageiras desempenham papel central no desempenho produtivo desses animais, pois constituem a base de sua alimentação. Forrageiras de elevada qualidade nutritiva permitem maior eficiência na conversão em carne, leite ou fibras, reduzindo a dependência de insumos concentrados. Assim, o manejo adequado das espécies forrageiras é essencial para a sustentabilidade e competitividade dos sistemas pecuários (CGIAR LIVESTOCK, 2023., HOPPE; MASTERS, 2023; NAPALINGA et al., 2024;)

Como qualquer outra planta, as forrageiras possuem exigências para seu desenvolvimento, os micronutrientes que as constituem e fazem parte da mesma, com o passar dos anos se perde, podendo não estar em sua composição celular. Por esse motivo, é feito adubações para a correção do déficit desses micronutrientes que auxilia no melhor desenvolvimento da planta forrageira, aumentando sua produção (MOREIRA, 2002).

O solo apresenta em sua composição micronutrientes em diferentes concentrações, dependendo do tipo de solo e as plantas precisam de micronutrientes para o seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Dessa forma, deve-se realizar uma análise de solo a fim de identificar os micronutrientes já presentes e suas respectivas concentrações. Com base nos resultados da análise do solo torna-se possível corrigir eventuais deficiências ou excessos, ajustando as dosagens conforme a necessidade específica do solo e das forrageiras. Essa etapa permite compreender a capacidade do solo em suprir os nutrientes às plantas, bem como observar o desenvolvimento vegetal diante de possíveis carências ou toxicidades, que variam de acordo com os resultados obtidos. Posteriormente, é essencial definir a cultura a ser implantada, considerando que diferentes espécies apresentam exigências nutricionais distintas. Assim, o manejo do solo pode ser conduzido de forma tecnicamente adequada, assegurando o fornecimento equilibrado dos micronutrientes necessários ao pleno desenvolvimento das plantas (DECHEN et al., 1991; BORKERT et al., 2001).

Os micronutrientes são fundamentais para o crescimento das forrageiras, quando fornecidos adequadamente ao solo com uma dosagem correta, irá auxiliar no desenvolvimento e produção das forrageiras. Quando o solo é bem adubado e manejado, cada espécie forrageira terá o potencial de explorar ao máximo da sua capacidade evolutiva (BUCKMAN; BRADY,

1968). Uma nutrição equilibrada resulta em maior produção de massa e fibras, refletindo em melhor rendimento e qualidade da forragem. Para que isso ocorra, é essencial conhecer os micronutrientes presentes no solo e identificar aqueles que se encontram em deficiência, possibilitando a correção e o manejo adequados.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar que o desenvolvimento adequado das forrageiras dependem de adubações e correções do solo, de modo a permitir que essas espécies expressem seu potencial produtivo. Além disso, este estudo visa apresentar o papel de cada micronutriente no desenvolvimento das forrageiras, bem como descrever os sintomas visuais de suas deficiências e as estratégias de correção correspondentes, desde a adequação das condições do solo até a aplicação correta dos nutrientes às plantas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O consumo de forrageiras e de pastagens é indispensável para a produção animal, pois além de ser um método de baixo custo, trata-se de uma prática comum e natural para a criação de herbívoros domesticados e de interesse zootécnico (SOBRAL et al., 2024). As fibras e proteínas presentes na composição das forrageiras constituem a base da alimentação desses animais, sendo essenciais ao seu desenvolvimento e desempenho produtivo. Além disso, a qualidade da forragem influencia diretamente a digestibilidade e o aproveitamento dos nutrientes, impactando na eficiência produtiva do rebanho (NAPALINGA et al., 2024).

Para extrair e utilizar ao máximo o potencial das forrageiras na produção animal, fazem-se necessárias um manejo adequado especialmente por meio de adubações no solo ou foliar. Essas aplicações têm como finalidade favorecer o desenvolvimento e reduzir prejuízos durante o crescimento da planta (MOREIRA, 2002; SOBRAL et al., 2024).

Os micronutrientes, no solo, nem sempre estão em formas disponíveis para as plantas, particularmente em áreas de alta produção de pastagens ou cultivos contínuo em solos de baixa fertilidade. Essa indisponibilidade pode estar associada ao pH do solo, visto que cada micronutriente apresenta um comportamento diferente em função da variação do pH do solo (AGROLINK 2025; SANTOS et al., 2021).

Adicionalmente, o comportamento dos micronutrientes no solo, e seus efeitos sobre as forrageiras, está fortemente ligado a vários fatores, além do pH do solo, tais como mineralogia do solo, interação entre os nutrientes, matéria orgânica teor de argila, desempenham papel determinante na disponibilidade e aproveitamento desses elementos pelas plantas. Sabendo disso, diversos fatores devem ser considerados antes da aplicação de cada micronutriente para que a planta efetivamente os utilize (CORDEIRO et al., 2023).

Historicamente, os fertilizantes com micronutrientes minerais foram desenvolvidos com base nas necessidades das plantas, testados em sistema água-areia, e comparados com os sintomas visuais manifestados nas folhas ou raízes. Esses experimentos permitiram estabelecer as funções de cada nutriente e sua correção quando em deficiência (KIRKBY, 2001).

Neste contexto, verifica-se que além de do seu comportamento no solo, os micronutrientes também são estudados no contexto biológico, onde pesquisadores visam entender uma melhor interação solo-planta e o aumento do desempenho fisiológico das forrageiras em diferentes sistemas produtivos (KIRKBY, 2001; SILVA et al., 2019).

A disponibilidade de micronutrientes em solos brasileiros é extremamente baixa, mesmo em solos de maior fertilidade e utilizados em sistemas agrícolas. Tais déficits podem afetar tanto as plantas quanto as forrageiras que delas se alimentam. O uso de fertilizantes que não contêm micronutrientes em sua formulação agrava essa situação, reduzindo ainda mais a disponibilidade desses elementos para as forrageiras.

Ainda assim, práticas agronômicas mal planejadas, como a calagem feita de maneira inadequada, cultivos sem a reposição do nutriente absorvido e exportado, também contribuem para que a carência de micronutrientes nos solos se torne cada vez mais severa. Essas deficiências impactam diretamente a produção de forrageiras e, consequentemente, o desempenho animal que delas depende (RESENDE, 2005).

Muitas vezes, a análise de solo por si só não fornece diagnóstico conclusivo, resultando em manejo incorreto ou insuficiente do solo, sendo necessário a complementação com análises de tecidos das plantas. Na Tabela 1, são apresentados os tipos de micronutrientes e quais condições favorecem o seu déficit no solo.

**Tabela 1.** Condições de maior probabilidade de deficiência de micronutrientes no solo

| Micronutriente | Condições que favorecem a deficiência*                                                                                                                        |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B              | <b>Solos arenosos; Alta pluviosidade; veranicos e estação seca; baixos teores de matéria orgânica; pH fora da faixa de 5,0 a 7,0.</b>                         |
| Cu             | <b>Solos orgânicos; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5;</b> níveis elevados de outros íons metálicos como Fe, Al e Mn; doses elevadas de N.                        |
| Fe             | <b>Calagem excessiva (pH elevado); solos encharcados;</b> excesso de outros metais como Mo, Cu e Mn; excesso de P; pH fora da faixa de 4,0 a 6,0.             |
| Mn             | <b>Calagem excessiva (pH elevado), solos arenosos;</b> solos orgânicos; excesso de Ca, Mg e K; níveis elevados de Fe, Cu e Zn; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5. |
| Zn             | <b>Calagem excessiva (pH elevado); altos níveis de P;</b> Matéria orgânica elevada, solos arenosos (baixa CTC); pH fora da faixa de 5,0 a 6,5.                |
| Mo             | <b>Solos ácidos (pH menor que 5,5); solos arenosos;</b> doses pesadas de sulfatos; níveis elevados de Cu.                                                     |

Fonte: (Adaptado de ARAUJO,1998 e LOPES,1999).\*Itens em negrito representam as condições mais comumente associadas aos problemas de deficiência no Brasil.

O principal desafio relacionado disponibilidade de micronutrientes para as plantas consiste na definição das doses adequadas para cada tipo de solo ou planta. Essa determinação é complexa, pois envolve diferentes condições ambientais, de manejo e de fertilidade do solo. Além disso, as análises laboratoriais nem sempre apresentam resultados completamente precisos, o que pode gerar variações no momento da aplicação. Deve-se considerar, ainda, o elevado potencial de toxidez de alguns micronutrientes, que, quando aplicados em doses inadequadas, podem causar danos às plantas em vez de beneficiá-las.

Ademais, fatores como o tipo de solo, a espécie vegetal cultivada e os micronutrientes selecionados influenciam diretamente na eficácia da adubação. Caso a amostragem e análise do solo não sejam realizadas de forma correta, a aplicação pode resultar em baixa absorção dos nutrientes pelas forrageiras ou até mesmo em efeitos negativos ao seu desenvolvimento.

As principais funções dos micronutrientes nas plantas (Tabela 2) estão relacionadas à sua capacidade de ativar enzimas e participar de reações metabólicas essenciais. Elementos como ferro (Fe) e zinco (Zn) atuam na ligação de enzimas ao substrato, enquanto manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) estão presentes em isoenzimas que auxiliam na eliminação de oxigênios tóxicos, protegendo as biomembranas, o DNA, as clorofilas e as proteínas. Já o boro (B) e o cloro (Cl) não possuem enzimas ou compostos orgânicos essenciais bem definidos, embora o boro desempenhe papel importante na formação das paredes celulares (KIRKBY, 2007).

**Tabela 2.** Micronutrientes e suas principais funções (adaptado de KIRKBY (2007)).

| Micronutriente         | Função                                                                                                     |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fe, Mn, Cu, Ni, Mn, Zn | Constituinte de enzimas (metaloproteínas) ativação de enzimas.                                             |
| Fe, Cu, Mn, (Cl)       | Envolvimento de transporte de elétrons na fotossíntese.                                                    |
| Mn, Zn, Mo             | Envolvimento na tolerância ao estresse.                                                                    |
| Cu, Mn, Zn, B          | Envolvimento no crescimento reprodutivo (indução ao florescimento, polinização, estabelecimento do fruto). |
| B, Zn                  | Constituinte de paredes celulares e membranas.                                                             |

## 2.1 SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES

### 2.1.1 Ferro

O ferro é um micronutriente essencial, porém apresenta baixa disponibilidade na maioria dos solos, sendo este o principal fator limitante para absorção das plantas. Esse elemento participa de diversos processos fisiológicos e bioquímicos, como a formação de enzimas e a ativação de atividades metabólicas, incluindo catalase, peroxidase, citocromo oxidase e xantina oxidase. Além disso, o ferro desempenha papel fundamental nos processos de fotossíntese, transferência de elétrons e fixação biológica de nitrogênio (GUERINOT, 1994; LOPES, 2009).

Para contornar a deficiência desse micronutriente, as plantas podem adotar estratégias fisiológicas, como a acidificação da rizosfera, que ocorre pela extrusão de prótons, aumentando a solubilidade e a disponibilidade do ferro no solo. No entanto, as condições ambientais e químicas do solo podem interferir na absorção do elemento, podendo inclusive causar toxicidade. Em solos excessivamente ácidos, o aumento da disponibilidade de ferro pode provocar acúmulo tóxico nos tecidos vegetais, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das plantas (CAMARGO; FREITAS, 1985; SOUZA et al., 2010). Sintomas típicos de deficiência de Fe em plantas podem ser vistos na Figura 1.



**Figura 1.** Deficiência de Fe em cana-de-açúcar: clorose uniforme nas folhas (imagem da esquerda) e deficiência de Fe em cafeeiro: clorose uniforme nas folhas (imagem da direita).

**Fonte:** ORLANDO FILHO et al., (1994) e MALAVOTA et al., (1993)

### 2.1.2 Zinco

O Zinco é amplamente encontrado praticamente em todos os ambientes, sendo um dos elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal. No solo, o Zn desempenha papel fundamental na produção e no metabolismo das plantas, atuando como componente estrutural de diversas proteínas e enzimas, além de participar de processos fisiológicos vitais. Trata-se de um micronutriente indispensável para o crescimento e funcionamento adequado das plantas (CHANEY, 1993; LI et al., 2002).

A deficiência de Zn pode ocasionar sérios prejuízos ao desenvolvimento vegetal, incluindo redução na formação e na qualidade nutricional dos grãos, menor resistência dos cereais a doenças e diminuição na taxa de síntese proteica. Além disso, plantas deficientes em Zn podem apresentar folhas pequenas, deformadas e com sintomas de clorose, além de necrose no meristema apical das raízes (BROADLEY et al. 2007; MARENCO; LOPES, 2002).

No entanto, o excesso de zinco no solo também pode ser prejudicial, pois o elemento, em concentrações elevadas, torna-se tóxico às plantas. A toxidez por Zn pode provocar redução da produção de matéria seca na parte aérea, necrose radicular, inibição do crescimento vegetal e comprometimento da biomassa das raízes (CARNEIRO et al., 2002; LI et al., 2011). Sintomas típicos de deficiência de Cu em plantas podem ser vistos na Figura 2.



**Figura 2.** Deficiência de Zn em citros: clorose internerval (imagem da esquerda) e deficiência de Zn em soja: clorose internerval (imagem da direita).

**Fonte:** MALAVOLTA et al., (1994) e BORKERT et al., (1994).

### 2.1.3 Manganês

O Mn tem papel essencial nos processos metabólicos das plantas, especialmente na fotossíntese, onde desempenha um papel importante no processo de transporte de elétrons e na desintoxicação de radicais livres de oxigênio. Além disso, o Mn age como cofator e ativador de diversas enzimas envolvidas no metabolismo vegetal, sendo considerado um dos principais ativadores enzimáticos (MALAVOLTA, 2006).

Com isso, em plantas verdes, a clorofila participa diretamente na fotólise da água e na evolução do oxigênio, processos que ocorrem nos cloroplastos durante a fotossíntese, sendo, portanto, indispensável para a manutenção da atividade fotossintética e do crescimento vegetal. Sintomas típicos de deficiência de Mn em plantas podem ser vistos na Figura 3.



**Figura 3.** Deficiência de Mn em soja: clorose internerval (BORKERT et al., 1994) (imagem da esquerda) e deficiência de Mn em milho: clorose internerval (imagem da direita)

**Fonte:** BORKERT et al., (1994) e (COELHO; FRANÇA, 1995).

### 2.1.4 Boro

O B é um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, atuando de maneira significativa nas folhas, especialmente nas mais jovens. Sua deficiência geralmente se manifesta nas margens e pontas das folhas, sendo facilmente observável a olho nu. O transporte do B ocorre predominantemente por meio do fluxo transpiratório, razão pela qual os sintomas de deficiência tendem a se manifestar com maior intensidade durante o estágio vegetativo (MALAVOLTA, 2006).

O déficit na planta interfere em processos fisiológicos fundamentais, como o alongamento celular, a síntese de proteínas e a formação da parede celular. Essa deficiência inibe a ação de reguladores de crescimento, como o ácido indolacético (AIA), e compromete o transporte de fotoassimilados, resultando em distúrbios no desenvolvimento da planta e redução da produtividade. (LEMOS; MELO, 1991). Sintomas típicos de deficiência de B em plantas podem ser vistos na Figura 4.



**Figura 4.** Eucalyptus: folhas normais (acima) e com deficiência de Boro (abaixo) (imagem da esquerda) e Eucalyptus: plantas com deficiência de Boro que quebram-se facilmente (imagem da direita);

**Fonte:** (SILVEIRA et al., 2001)

### 2.1.5 Cobre

Diferente dos outros micronutrientes, o Cu é um elemento que sua disponibilidade no solo é fortemente afetada pela presença de outros elementos, como ferro, manganês e alumínio, que competem com o Cu por sítios de adsorção e absorção pelas raízes. A faixa de pH ideal para a sua disponibilidade varia entre 5,0 e 6,5, sendo que em solos com alto teores de matéria orgânica apresentam menor perda desse nutriente quando comparados a solos mais argilosos, onde ocorre a maior retenção do mesmo (FONTINEL; SANTOS, 2020).

O cobre participa de importantes processos fisiológicos, incluindo a fotossíntese, respiração e metabolismo de carboidratos. Sua deficiência pode ocasionar clorose, redução no crescimento e morte de gemas apicais, enquanto o excesso pode ser tóxico, interferindo na

absorção de outros nutrientes essenciais. Sintomas típicos de deficiência de Cu em plantas podem ser vistos na Figura 5.



**Figura 5.** Deficiência de Cu em cana-de-açúcar: folhas encurvadas (imagem da esquerda) e deficiência de Cu em cafeeiro: folhas encurvadas para baixo (imagem da direita).

**Fonte:** ORLANDO FILHO et al., (1994) e MALAVOLTA et al., (1994);

### 2.1.6 Molibidênio

O molibdênio (Mo) é mais disponível em solos com pH acima de 7,0, sendo sua deficiência mais comum em solos ácidos e arenosos, que possuem baixa capacidade de retenção de nutrientes. No entanto, o excesso de Mo pode causar toxicidade, principalmente em pastagens frequentadas por animais, podendo resultar em distúrbios metabólicos, quando aplicado em quantidades corretas, o molibdênio é essencial para o metabolismo do nitrogênio, participando da redução de nitratos e promovendo a eficiência da fixação biológica de nitrogênio em leguminosas (CRUZ; WEILER, 2020).

Nas culturas de cana-de-açúcar, destaca-se por contribuir para o aumento da eficiência nitrogenada e da produção de sacarose (CRUZ; WEILER, 2020). Sintomas típicos de deficiência de Mo em plantas podem ser vistos na Figura 6.



**Figura 6.** Deficiência de Mo em cafeeiro: manchas amareladas entre as nervuras secundárias, margens encurvadas para baixo (MALAVOLTA et al., 1993).  
**Fonte:** MALAVOLTA et al., (1993);

#### 2.1.7 CLORO

O Cloro é fundamental para o processo fotossintético, atuando em conjunto com o manganês na dissociação da molécula de água e liberação de oxigênio durante a fotólise. Além disso, exerce papel regulador na abertura estomática e na manutenção do balanço osmótico celular (MALAVOLTA, 2006; MOTTA et al., 2007).

Embora a deficiência de cloro seja pouco comum na maioria das culturas, quando ocorre, manifesta-se por meio de folhas murchas, deformadas e com clorose, principalmente nas folhas mais velhas. Porém, em algumas culturas como a abobrinha e o milho, os sintomas podem se apresentar nas folhas mais novas, indicando diferenças fisiológicas na redistribuição desse micronutriente. Sintomas típicos de deficiência de Cl em plantas podem ser vistos na Figura 7.



**Figura 7.** Imagem de uma planta de trigo, demonstrando o sintoma do déficit do micronutriente Cloro na folha

**Fonte:** MALAVOLTA et al., (1993).

## **2.2. ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE MICRONUTRIENTES EM FORRAGEM**

A matéria orgânica é essencial para auxiliar no fornecimento dos micronutrientes as forrageiras, assim como também auxiliam no processo de retenção de água no solo, aspecto essencial durante períodos de escassez hídrica. Sabendo disso, as principais práticas de manejo que se deve adotar para solos degradados, seria preservar a matéria orgânica que se obtém no solo. A matéria orgânica auxilia na formação de agregados e melhora a estrutura física do solo, além de estimular a presença e atividade dos microrganismos e contribui para o equilíbrio químico, fatores que em conjunto aumentam a disponibilidade de micronutrientes às plantas (BUCKMAN; BRADY, 1968).

Uma das estratégias iniciais para diagnosticar deficiências nutricionais é a análise de solo, que permite identificar a disponibilidade de macro e micronutrientes e orientar práticas de correção e adubação (SOUSA, 1998). A análise do solo fornece informações fundamentais sobre a fertilidade e o estado nutricional do solo, auxiliando na definição de doses e fontes de nutrientes adequadas. No entanto, os resultados podem apresentar variações devido a erros de amostragem, preparo de amostras ou interpretações laboratoriais, o que pode comprometer a exatidão das recomendações de adubação (GALRAO, 2002).

Para mitigar os efeitos das deficiências de micronutrientes e aumentar a eficiência de absorção pelas forrageiras, recomenda-se o uso de fertilizantes específicos contendo formulações químicas à base de sais, quelatos, compostos fluidos ou sólidos, aplicados por diferentes técnicas conforme as características do solo e da cultura. O uso de fertilizantes quelatizados, em particular, tem se mostrado eficaz por aumentar a mobilidade e a disponibilidade de micronutrientes no solo, reduzindo as perdas por fixação e tornando o manejo mais eficiente e ambientalmente seguro (FAGERIA; BALIGAR, 2021).

TEIXEIRA (2016) estudando o efeito do micronutriente Zn quelatizado no capim Mombaça através da adubação foliar, concluiu que a parte foliar da planta não sofreu modificações, porém os animais que consumiram a planta tiveram o micronutriente fornecido através da alimentação animal.

Após experimento com capim Marandu, Barreto et al. (2018) estudaram o efeito e a utilização de B e Zn na produção e crescimento de plantas. Os autores observaram os efeitos desses micronutrientes no crescimento do capim Marandu quando associados a fosforo e potássio. Foi observado que após os 6 ciclos de cortes do capim diversos fatores (i.e. temperatura, matéria orgânica, precipitação) interferiram na produção de massa desse capim, sendo que após o 4 corte o capim Marandu teve uma maior recuperação na produção de massa seca.

Utilizando as forrageiras Aruana, Tanzânia, Pensacola e *B. Humidicola*, em um experimento para avaliar o teor de Zn após aplicação no solo, Santos (2019) notou que após a aplicação cada tipo de capim teve um resultado parecido. Contudo, se notou que todas as culturas obtiveram um crescimento foliar adequado, porém somente na *B. Humidicola* houve aumento na produção de massa fresca na parte aérea da planta. Nas demais culturas estudadas, o Zn promoveu redução na produção. Ademais, nenhum tratamento com a aplicação utilizada conseguiu fornecer Zn para os bovinos.

Um estudo (LIBORIO, 2022) realizado em vasos, utilizou o capim híbrido Ipyporã para observar o seu comportamento em relação ao micronutriente Boro. Liborio (2022) concluiu que mesmo em épocas diferentes, a produção natural do capim estudado não teve influência por efeito da adição de B em sua composição. Porém, embora o B tenha apresentado efeito benéfico para a produção das raízes, o resultado não atingiu o esperado ou o considerado adequado.

Em um experimento com *Brachiaria brizantha* cv. MG5, utilizando adubação com B e Zn, Acha (2022) observou e destacou positivamente a melhoria no estabelecimento inicial e na qualidade de plântulas, um aumento de disponibilidade inicial de B e Zn para a planta e consequente ganho no estabelecimento e biomassa precoce.

Após fazer a aplicação de calcário, nitrogênio e Zn para verificar a produção de matéria seca no capim *Brachiaria Decumbens* Kawatoko et al. (2012) observaram que a aplicação combinada de calcário, N e Zn em pastagem degradada aumentou a produção de matéria seca em quatro ciclos de cortes, mostrando que o manejo equilibrado (solo + macronutrientes + micronutriente) melhorou a produtividade na *Brachiaria Decumbens*.

## 2.3 MÉTODOS DE APLICAÇÃO

Uma vez que se faz a análise do solo, e se identifica que terá que fazer correções para suprir a necessidade de micronutrientes, é feita a aplicação do micronutriente, também é necessário estabelecer quais métodos e modos são recomendados para que se possa fazer a aplicação.

De fato, esse é um dos problemas que mais ocorre, e tem que ter atenção na hora da aplicação, pois vários fatores interferem na hora de se fazer a análise até a hora que se vai fazer a correção, os fatores que interferem ou influência são: tipos de solos, solubilidade, mobilidade do nutriente na planta, o pH do solo e o efeito residual (LOPES, 1991).

Dentre os vários métodos e modos que se utiliza para se fazer a correção dos micronutrientes nas plantas, os mais utilizados são:

**APLICAÇÃO VIA SOLO:** Com esse tipo de método visa aumentar a concentração de micronutrientes na solução, que desse modo as raízes conseguem fazer melhor absorção, proporcionando maior eficiência de utilização pelas plantas, porque para que ocorra uma boa aplicação, serve para que a solubilização no solo, a velocidade seja compatível com a absorção pelas raízes. A Tabela 3 exemplifica os diferentes modos de fazer a aplicação via solo. (VOLKWEISS. 1988).

**ADUBAÇÃO FOLIAR:** Assim como as raízes, as folhas das forrageiras também conseguem absorver os micronutrientes que são depositados em sua superfície na forma de solução, pois por serem atingidas na parte aérea das plantas consegue aproveitar os micronutrientes nelas depositadas.

Esse método de aplicação, requiere muito cuidado ao ser aplicado, pois se lançado de forma incorreta a forrageira não consegue fazer absorção de maneira adequada, com isso não consegue se extrair o seu potencial adequado de acordo com a adubação feita através dos micronutrientes.

**Tabela 3.** Diferentes modos de aplicação de fertilizantes via solo. (LOPES, 1999).

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A lança com incorporação       | Em que os micronutrientes são distribuídos uniformemente na superfície do solo, isoladamente ou com misturas NPK, e a seguir incorporados pelas práticas normais de preparo (aração e gradagem). É o caso da aplicação de micronutrientes em áreas de culturas anuais sob agricultura convencional, pastagens em formação, quando do uso de adubações corretivas com micronutrientes. |
| A lança sem incorporação       | Em que os micronutrientes são distribuídos uniformemente na superfície do solo, isoladamente ou com misturas NPK, mas não são incorporados. Este é o caso de aplicações em áreas de plantio direto, pastagens formadas, ou mesmo culturas perenes já formadas.                                                                                                                        |
| Em linhas                      | Em que os micronutrientes são aplicados com semeadeiras-adubadeiras na linha de semeadura, isoladamente ou em misturas NPK, ao lado e abaixo das sementes, em geral, junto com a adubação NPK.                                                                                                                                                                                        |
| Em covas ou valetas de plantio | Em que os micronutrientes são incorporados ao material de solo das covas ou valetas de plantio, isoladamente ou em misturas NPK, e normalmente são empregados para culturas perenes.                                                                                                                                                                                                  |

Antes de iniciar a aplicação, deverá tomar muito cuidado em relação ao horário de aplicação, o mais indicado é na primeira parte do dia, pois não ocorre muito índice de fortes ventos, fazendo com que não perca os fertilizantes pela deriva do vento, e com isso, as forrageiras consiga captar melhor os fertilizantes disponibilizados. A altura da barra do maquinário que irá fazer a aplicação, deverá ser ajustada pois quanto mais rente as forrageiras melhor será a eficácia da aplicação, porque será depositado diretamente na área foliar das forrageiras (LOPES, 1999).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo, foi feito utilizando a técnica de revisão de literatura, onde foi feito pesquisas aprofundadas e utilizando fontes secundárias, com o objetivo de explorar e descrever sobre os tipos de micronutrientes, e toda a sua disponibilidade para a planta e como pode ser feito os tipos de adubações.

Neste trabalho, utilizou fontes de informações como os principais estudos e pesquisas feitos nacionais e internacionais. Trabalhos e revistas publicados, livros, utilizando bases de dados online, como: Google acadêmico e SciELO. O texto do trabalho, segue uma linguagem formal e acadêmica do tema, fazendo uma abordagem científica do tema.

Os temas de busca utilizados na pesquisa foram: “quais os micronutrientes e suas recomendações”, “estratégias de manejo de deficiência de micronutrientes em pastagem” e “importância dos micronutrientes do desenvolvimento das forrageiras”. Os artigos citados são de 1990 até os anos de 2025, escolhidos artigos com o foco em pesquisas e experimentos já realizados com adubação em forrageiras, utilizando alguns dos micronutrientes sugeridos, esses foram selecionados e lidos de acordo com o tema proposto, este trabalho tem como enfoque onde visa os micronutrientes, métodos de aplicação, impacto do micronutriente na produtividade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria dos estudos com micronutrientes foram realizados culturas como café, cana-de-açúcar e entre outras, e que cada tipo de micronutriente beneficia e dependendo do manejo ou da aplicação a planta também pode ter um resultado negativo.

Durante as pesquisas realizadas, observou-se que os micronutrientes quanto mais associados uns aos outros, melhores são para as forrageiras em questão de sua formação, isso desde a raiz até a formação de suas folhas. Pois, a capacidade de disponibilidade para planta vai depender de como vai ser fornecido os micronutrientes e se vão estar associados a outros, seja micronutriente ou macronutrientes.

Verificou-se a importância da observação da Lei do Mínimo quando se pensa em adubação. A Lei do Mínimo, proposta por Justus von Liebig (MALAVOLTA, 2006) é um princípio essencial nas Ciências do Solo que afirma que o crescimento e a produtividade das plantas são limitados pelo nutriente essencial presente em menor disponibilidade no solo, mesmo quando os demais estão em níveis adequados. Assim, o desenvolvimento vegetal depende do fator mais limitante do sistema, e a deficiência de um único nutriente pode comprometer o aproveitamento dos outros. No manejo do solo, essa lei ressalta a importância da análise de fertilidade e da adubação equilibrada para garantir condições adequadas ao crescimento das culturas.

Essa lei, que usa um barril como analogia, mostra a importância de uma adubação equilibrada tendo em vista a nutrição das plantas. Nesse modelo (Figura 8), cada tábua do barril simboliza um nutriente essencial ou fator de crescimento, sendo que a capacidade do barril de reter água representa o potencial produtivo da cultura. Como pode ser visto (Figura 8), esse potencial é limitado pela tábua mais curta, ou seja, pelo fator que se encontra em menor disponibilidade (CHERIF, 2012).

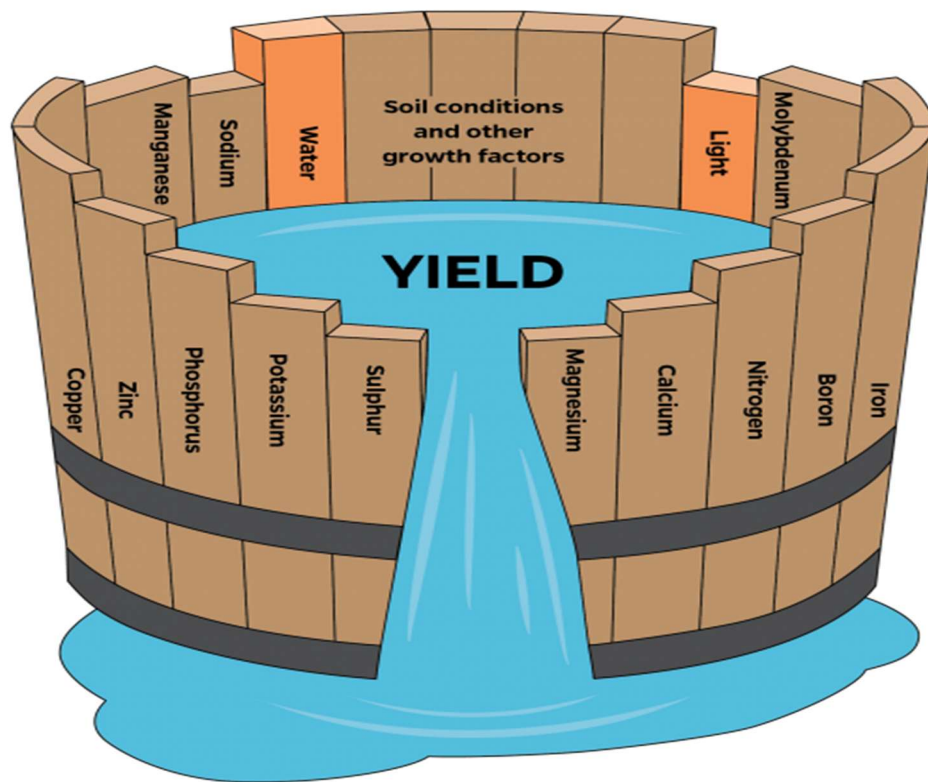


**Figura 8.** Representação da Lei do Mínimo

Fonte: adaptado de Cherif, (2012).

Os solos por si só, auxilia neste processo de transferência do micronutriente para planta, o que se pode observar que na maioria dos sucessos nos experimentos feito em plantas, e que se tem um resultado esperado, ocorre quando está associado a outro micronutriente, e quando é disponibilizado no solo, e não diretamente na planta.

Os tipos de solo, também influencia em cada tipo de micronutriente e na sua dosagem, em algumas pesquisas foi citado o uso de manejos, como uma fonte alternativa para se conseguir prevenir a perda continua deste micronutriente através de aspectos naturais. Ademais, pode se observar que com o uso das tecnologias e as inovações, cada vez mais a adubação a base de micronutriente através das forrageiras ou plantas, terá que ser feito, pois através desses métodos poderá se extrair o máximo das culturas.

Outro resultado obtido durante a pesquisa, foi que a avaliação de micronutrientes na planta, geralmente está associada a algum macronutriente, como por exemplo aplicação de Potássio (K) e fósforo (P) associados a Zn e B (BARRETO, 2018).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações analisadas ao longo deste trabalho mostram que os micronutrientes desempenham papel indispensável no desenvolvimento, na produtividade e na eficiência fisiológica das forrageiras. A revisão de literatura demonstrou que, embora sejam requeridos em pequenas quantidades, elementos como Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo e Cl exercem funções metabólicas essenciais, influenciando diretamente processos como fotossíntese, respiração, síntese de proteínas, crescimento radicular, formação de tecidos e tolerância ao estresse. Dessa forma, sua disponibilidade no solo é determinante para que as forrageiras possam expressar seu potencial produtivo e contribuir para sistemas pecuários mais eficientes e sustentáveis.

Os solos tropicais, especialmente aqueles caracterizados por baixa fertilidade, elevada acidez e reduzido teor de matéria orgânica, mostraram-se particularmente susceptíveis à deficiência de micronutrientes. Além disso, a adoção de práticas agrônômicas inadequadas, como calagem excessiva, ausência de reposição nutricional e manejo ineficiente do solo, agravam ainda mais a indisponibilidade desses elementos para as plantas. Assim, torna evidente a importância de realizar diagnósticos consistentes, por meio da análise de solo e da observação de sintomas visuais, como etapa fundamental para direcionar a adubação de forma técnica e precisa.

As estratégias de manejo apresentadas demonstraram que tanto a aplicação via solo quanto a aplicação foliar podem ser eficazes, desde que respeitem as características químicas do solo, as necessidades específicas da cultura e a forma química do nutriente aplicado. Destaca-se, nesse sentido, o papel dos fertilizantes quelatizados, que apresentam maior mobilidade e menor risco de fixação no solo, contribuindo para uma absorção mais eficiente pelas plantas.

A literatura consultada reforça que o fornecimento adequado de micronutrientes resulta em maior vigor vegetativo, incremento da produção de biomassa e melhor qualidade da forragem consumida pelos animais.

Conclui-se, que o manejo nutricional das pastagens deve considerar os micronutrientes como elementos essenciais e não secundários no planejamento da fertilidade do solo. A adoção de práticas corretivas e preventivas, aliada ao conhecimento técnico sobre suas funções e interações químicas, constitui caminho fundamental para aumentar a eficiência produtiva das forrageiras e garantir a sustentabilidade dos sistemas pecuários.

O avanço contínuo das pesquisas nessa área, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias de fertilização, reforça a necessidade de ampliar o uso racional e científico dos micronutrientes na produção de forragens.

## REFERÊNCIAS

- ACHA, A. J.; VIEIRA, H. D. Boron and zinc coating of *Brachiaria brizantha* cv. MG5 seeds. **Australian Journal of Crop Science**, Bentley, v. 16, n. 6, p. 700–705, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.06.p3523>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- AGROLINK. Solos ricos em micronutrientes elevam produção da soja. **Agrolink**, 05 jun. 2025. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/noticias/solos-ricos-em-micronutrientes-elevam-producao-da-soja\\_502661.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/solos-ricos-em-micronutrientes-elevam-producao-da-soja_502661.html). Acesso em: 24 out. 2025.
- ARAÚJO, M. A. G. Adubação com nutrientes secundários e micronutrientes em plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1., 1998, Rio Verde. **Resumos de palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p. 5–12.
- BARRETO, I. **Fósforo e potássio associados a enxofre, boro e zinco na adubação de formação de capim-marandu**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Dracena, 2018.
- BORKERT, C. M. et al. **Seja o Doutor da sua Soja**. Piracicaba: Informações Agronômicas, 1994. 16 p. (Informações Agronômicas, n. 66).
- BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; BATAGLIA, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: FERREIRA, M. E. et al. (ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001a. p. 151–185.
- BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P. et al. Zinc in plants. **New Phytologist**, Cambridge, v. 173, n. 3, p. 677–702, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1968.
- CAMARGO, C. E. O.; FREITAS, J. G. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 65–75, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051985000100007>. Acesso em: 15 dez. 2025.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1629–1638, 2002.

CGIAR LIVESTOCK. Livestock feeds & forages: The flagship initiative for improving livestock nutrition. 2023. Disponível em: <https://livestock.cgiar.org/research/themes/livestock-feeds-forages.html>. Acesso em: 24 out. 2025.

CHANEY, R. L. Zinc phytotoxicity. In: ROBSON, A. D. (ed.). **Zinc in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p. 135–150.

CHERIF, M. Liebig's Law of the Minimum and the barrel analogy. In: **Biological Stoichiometry: The Elements at the Heart of Biological Interactions**. [S.l.: s.n.], 2012.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o Doutor do seu Milho**. Piracicaba: Informações Agronômicas, 1995. 24 p. (Informações Agronômicas, n. 71).

CORDEIRO, L. R. B. A. et al. Indicadores de qualidade do solo em cultivos de plantas forrageiras: uma revisão. **Revista Geama**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 75–85, 2023.

CRUZ, J. C. et al. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **Tecnologia**, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 2, p. 272–278, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v25i2.15552>. Acesso em: 15 dez. 2025.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. C. Função dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. p. 66–78.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. **Improving nutrient use efficiency in crop production**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2021.

GALRÃO, E. Z. **Micronutrientes: diagnóstico e manejo em solos tropicais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. (Documentos, 72).

GUERINOT, M. L.; YI, Y. Iron: nutritious, noxious, and not readily available. **Plant Physiology**, Rockville, v. 104, n. 3, p. 815–820, 1994.

HOPPE, K.; MASTERS, D. G. Livestock preference and feeding value as key determinants for forage improvement. **Animal Production Science**, Clayton, v. 63, n. 12, p. 1161–1176, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AN23140>. Acesso em: 15 dez. 2025.

- KAWATOKO, M. et al. Efeito imediato de calcário, nitrogênio e zinco na produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens*. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 30, n. 1, p. 1–8, 2012.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 118, p. 1–24, 2007.
- LEMO, E. G. M.; MELO, W. J. Análise bioquímica de plantas. In: FERREIRA, M. E. (org.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991.
- LI, T. et al. Rhizosphere characteristics of zinc hyperaccumulator *Sedum alfredii* involved in zinc accumulation. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 185, n. 2-3, p. 818–823, 2011.
- LI, X. et al. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 12, n. 2, p. 93–100, 2002.
- LIBÓRIO, C. B.; VERZIGNASSI, J. R. Boron in the phytotechnical, reproductive, and seed production components of hybrid *Brachiaria* BRS RB331 Ipyorã. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 65, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca22055>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- LOPES, A. Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agronômica e preparo de fertilizantes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1988, Jaboticabal. **Anais....** Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 357–390.
- LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agronômica**. São Paulo: ANDA, 1999. 72 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 3. ed. São Paulo: Ceres, 2006.
- MALAVOLTA, E.; PRATES, H. S.; CASALE, H.; LEÃO, H. C. **Seja o Doutor do seu Citros**. Piracicaba: Informações Agronômicas, 1994. 22 p. (Informações Agronômicas, n. 65).
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2009.
- MELO, W. J.; LEMOS, M. V. F. **Micronutrientes na Agricultura**. Campinas: Fundação Cargill, 1991.
- MOREIRA, F. M. S. **Nutrição e alimentação de ruminantes**. Lavras: UFLA, 2002.
- MOREIRA, N. M. S. F. **Forragens & pastagens**. 2. ed. Braga: IPCA, 2020.

MOTTA, A. C. V. et al. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: UFPR, 2007.

NAPALINGA, C. P. et al. Plant-based feed and forage research for livestock: a bibliometric review. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports**, Phitsanulok, v. 28, n. 5, 2024. Disponível em: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal/article/view/259394>. Acesso em: 24 out. 2025.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. **Seja o Doutor do seu Canavial**. Piracicaba: Informações Agronômicas, 1994. 12 p. (Informações Agronômicas, n. 67).

RESENDE, A. V. **Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

SANTOS, A. P. **Resposta de plantas forrageiras à adubação com zinco**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

SANTOS, F. D. et al. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 2, p. 272–278, 2021.

SILVA, R. C. F. et al. Assessing the content of micronutrients in soils and sugarcane in different pedogeological contexts of northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 43, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180228>. Acesso em: 15 dez. 2025.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. **Seja o Doutor do seu Eucalipto**. Piracicaba: Informações Agronômicas, 2001. 32 p. (Informações Agronômicas, n. 93).

SOBRAL, G. L. et al. Algumas considerações sobre as exigências nutricionais das gramíneas forrageiras tropicais. **Pubvet**, Londrina, v. 8, n. 11, 2024.

SOUSA, D. M. G. Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1., 1998, Rio Verde. **Resumos de palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p. 72–77.

SOUZA, L. H. et al. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1641–1652, 2010.

SOUZA, P. S. et al. Efeito de diferentes dosagens de  $\text{Fe}^{3+}$  na germinação do girassol. **Revista Internacional de Ciências**, Cuiabá, v. 3, n. 2, p. 73–79, 2013.

TEIXEIRA, N. M. **Adubação foliar de zinco quelatizado e seus efeitos na produção de capim-mombaça**. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado) – UNESP, Dracena, 2016.

VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1988, Jaboticabal. **Anais....** Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 391–412.