

## IMPORTÂNCIA DO BORO NO ENRAIZAMENTO DA SOJA

### IMPORTANCE OF BORON IN ROOTING SOYBEAN

**Ramon De Jesus MARTINS**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9035-5160>

Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guarai (IESC/FAG)

e-mail: [ramon\\_jm\\_18@hotmail.com](mailto:ramon_jm_18@hotmail.com)

**Leonardo Freitas NAZARENO**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7384-572X>

Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guarai (IESC/FAG)

e-mail: [leoleofreitas101@gmail.com](mailto:leoleofreitas101@gmail.com)

**Ronaldo Pereira LIMA**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7403-1939>

Instituto Educacional Santa Catarina Faculdade Guarai (IESC/FAG)

e-mail: [ronaldoagroenergia@gmail.com](mailto:ronaldoagroenergia@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14204824>

#### RESUMO

A soja *Glycine max* (L) é a oleaginosa com maior expansão global, ocupando cerca de 50% da área cultivada no Brasil. A utilização de sementes de boa qualidade e a germinação são fatores que ajudam a manter e garantir o sucesso desta cultura. A introdução da soja no Paraguai ocorreu pela primeira vez em 1946, pelo Instituto Agrônomo Nacional, e posteriormente expandiu-se para outros estados. Os bioestimulantes são compostos por dois ou mais reguladores vegetais combinados com outros elementos (aminoácidos, nutrientes e vitaminas). Esses produtos têm a capacidade de promover o crescimento das plantas, incentivando a divisão, o alongamento e a diferenciação celular. Como resultado, ampliam a capacidade das plantas de absorver nutrientes e água, o que impacta diretamente seu desenvolvimento, desde a formação de sementes, crescimento e floração, até a frutificação, senescência e, por fim, sua produtividade. Produtos solúveis em água geralmente consistem em sais puros e de alta concentração, que, ao serem aplicados no solo, liberam rapidamente o boro na solução do solo.

Palavras-chave: Enraizamento da soja. Boro. Soja.

#### ABSTRATC

*Glycine max* (L) soybean is the oilseed with the greatest global expansion, occupying around 50% of the cultivated area in Brazil. The use of good quality seeds and germination are factors that help maintain and guarantee the success of this crop. Soybeans were introduced to Paraguay for the first time in 1946, by the National Agronomic Institute, and later expanded to other states. Biostimulants are composed of two or more plant regulators combined with other elements (amino acids, nutrients and vitamins). These products can stimulate plant growth through cell division, cell elongation and differentiation, and,

consequently, increase the absorption capacity of nutrients and water, which directly interferes with development (seed generation, growth and development, flowering, fruiting and senescence) and productivity. Products that are soluble in water are generally pure salts with higher concentrations, which, when applied to the soil, quickly release boron into the solution.

**Keywords:** Rooting soybean. Boron. Soybean.

## INTRODUÇÃO

A soja, conhecida cientificamente como *Glycine max* (L.), é a oleaginosa de maior expansão mundial. No Brasil, essa cultura tem crescido expressivamente nos últimos anos, ocupando aproximadamente metade das áreas de cultivo. A escolha de sementes de alta qualidade e o processo de germinação são elementos fundamentais para garantir o sucesso e a sustentabilidade dessa produção (Carvalho, *et al.*, 2024).

Com o avanço das colheitas nos principais estados produtores, que representam cerca de 76,4% da área cultivada no país, a produção de soja foi estimada em 146,52 milhões de toneladas, o que corresponde a uma queda de 5,2% em relação à safra anterior. O ciclo 2022/23 encerra-se, contudo, com um novo recorde na produção de grãos. Conforme o 12º levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção total foi estimada em 322,8 milhões de toneladas, um aumento de 18,4%, ou seja, 50,1 milhões de toneladas a mais do que no período do ano anterior. Esse crescimento é impulsionado pela expansão da área cultivada, que atingiu 78,5 milhões de hectares, e pelo aumento da produtividade média, de 3.656 kg/ha para 4.111 kg/ha. Os dados mais recentes confirmam uma safra histórica para o Brasil, com 322,8 milhões de toneladas de grãos, 50,1 milhões a mais em comparação ao ciclo anterior. No início, a Conab havia estimado a colheita em 312,4 milhões de toneladas, mas o ciclo se encerra com 322,8 milhões, representando uma variação positiva de 3,3%, ou cerca de 10 milhões de toneladas. Esse crescimento reflete a evolução metodológica da Conab na produção de dados públicos. Nesta safra, houve um aumento na produção de soja em estados como Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina. No Rio Grande do Sul, as lavouras também mostraram melhor desempenho, embora limitado por condições climáticas adversas durante o período de crescimento da soja. Em um cenário favorável, a colheita de soja no Brasil para a safra 2022/23 deverá atingir um novo recorde, com uma produção prevista de 154,6 milhões de toneladas, um aumento de 23,2% (Fidelis *et al.*, 2024).

Bioestimulantes consistem em uma combinação de dois ou mais reguladores de crescimento vegetal, juntamente com outras substâncias, como aminoácidos, nutrientes e vitaminas. Esses compostos promovem o desenvolvimento das plantas ao estimular processos como divisão, alongamento e diferenciação celular, aumentando, assim, a capacidade das plantas de absorver água e nutrientes. Esse efeito contribui diretamente para o ciclo de desenvolvimento, desde a germinação das sementes, crescimento e floração, até a frutificação, senescência e, por fim, a produtividade da cultura.

A utilização de quantidades elevadas de bioestimulante composto por citocinina, ácido indol butírico e ácidos giberélicos na semente de algodoeiro promoveu um aumento na área foliar, altura e crescimento das plantas. A aplicação de bioestimulantes nas sementes possibilita o desenvolvimento de novas plantas mais vigorosas, com maior comprimento, maior produção de matéria seca e uma maior taxa de emergência em solos arenosos e argilosos, à medida que se aumentam as doses do produto. Na soja, o uso de

bioestimulantes resultou em um incremento no número de vagens por planta e na produção de grãos, tanto quando aplicado nas sementes quanto via foliar.

No entanto, uma maior produtividade não está necessariamente associada ao aumento no crescimento da parte aérea da planta, como altura, número de ramos ou altura da inserção da primeira vagem. Em relação ao aumento da produtividade, o bioestimulante mostra-se mais eficiente quando aplicado durante a fase de reprodução. A soja consegue atender às suas necessidades nutricionais por meio da fixação biológica de nitrogênio, resultado de sua relação simbiótica com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, facilitada pela ação do complexo enzimático da nitrogenase.

Molibdênio é uma substância da nitrogenase que estimula a redução do  $N_2$  atmosférico para  $NH_3$ . Utilizar sementes ricas em matéria orgânica aumenta a fixação biológica de nitrogênio, elevando os rendimentos da soja. A reserva de Boro nas sementes também é relevante, pois sementes deficientes têm baixo poder germinativo, o que resulta em plântulas anormais. Os micronutrientes são encontrados em quantidades reduzidas nos solos tropicais e, em geral, são assimilados pela matéria orgânica. Como as enzimas nitrogenase são responsáveis pelo processo de produção de fibra bruta, é importante que não haja deficiência nutricional, uma vez que os micronutrientes são responsáveis pelas atividades das enzimas. Caso haja escassez, a produção de fibras bruta será reduzida (Floss; Floss, 2022).

O uso de aminoácidos no tratamento de sementes ainda é uma técnica em desenvolvimento e requer mais estudos para que seus efeitos na qualidade inicial das sementes de soja sejam plenamente compreendidos. Pesquisas adicionais são necessárias para avaliar seus impactos. Os benefícios dos aminoácidos parecem incluir uma germinação mais eficiente, plantas com raízes mais robustas, maior vigor e firmeza, enchimento uniforme dos grãos e um aumento na produtividade. Vale destacar que o uso de aminoácidos não busca suprir diretamente a necessidade de proteínas nas plantas, mas sim estimular seu metabolismo fisiológico.

Bioestimulantes são substâncias sintéticas compostas por uma ou mais combinações de biorreguladores e outros compostos quimicamente distintos, como sais minerais, que modificam processos vitais e estruturais das plantas. As principais características que diferenciam as variedades de soja são: o ritmo de crescimento, o ciclo que está relacionado aos requisitos do dia e a temperatura das fases fenológicas. O objetivo da pesquisa foi analisar o progresso e a eficiência da soja em relação à presença ou ausência de bioestimulante (Rios et al., 2022).

A importância do boro no desenvolvimento da soja está ligada à sua atuação essencial no metabolismo da planta, especialmente no crescimento radicular e no equilíbrio fisiológico. Apesar disso, sua deficiência em solos tropicais é recorrente, o que reforça a necessidade de pesquisas que elucidem sua influência específica no enraizamento da soja, dado o impacto significativo dessa cultura na economia e na sustentabilidade agrícola.

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o papel do boro no enraizamento da soja, analisando como sua presença pode potencializar o desenvolvimento radicular e a produtividade da planta, contribuindo para o aprimoramento das práticas de manejo agrícola e sustentabilidade na produção dessa cultura estratégica.

## **METODOLOGIA**

Para a elaboração deste estudo, optou-se pela realização de uma revisão bibliográfica, com o intuito de reunir e sistematizar o conhecimento existente sobre a importância do boro no enraizamento da soja. Essa abordagem foi escolhida para

compreender as interações do boro no desenvolvimento das raízes da soja, uma vez que estudos prévios indicam que esse micronutriente possui papel essencial em várias etapas do crescimento vegetal, incluindo a divisão celular e a formação de tecidos.

A coleta de dados foi realizada por meio de artigos científicos, dissertações, teses e periódicos publicados entre os anos de 2019 e 2024, priorizando fontes que abordam o uso de bioestimulantes, biofertilizantes e o comportamento do boro em diferentes tipos de solo e em condições ambientais distintas. As pesquisas foram consultadas em bases de dados acadêmicas, como Google Scholar, Scielo, e periódicos especializados em agronomia e nutrição de plantas. Foram utilizados os termos em português e inglês, como "boro no enraizamento da soja," "micronutrientes na soja," e "bioestimulantes em plantas," para garantir uma cobertura ampla e diversificada de referências.

Foram considerados estudos que tratam especificamente das concentrações de boro, períodos de aplicação, efeitos fisiológicos na soja e, principalmente, o impacto na formação e desenvolvimento das raízes. Estudos sobre outras oleaginosas e leguminosas também foram incluídos para comparação de resultados e contextualização dos efeitos do boro.

## REVISÃO DE LITERATURA

### Boro no solo

No Brasil, a ausência de boro é frequentemente associada a áreas de cerrado ou solos arenosos com baixos níveis de matéria orgânica, resultando em escassez de água. As condições favoráveis à deficiência são solos arenosos, alto índice de precipitação, estações quentes e secas, baixos níveis de matéria orgânica e pH que não seja de 5,0 a 7,0. A compreensão da capacidade do solo de adsorver boro (B) é útil em diversas situações, incluindo a correção de deficiências desse nutriente e a prevenção de problemas de toxidez, enfatizando a lixiviação como um elemento fundamental na dinâmica do elemento no solo (Leonardi *et al.*, 2023).

A capacidade de absorção de boro (B) pelo solo é influenciada por vários fatores, incluindo a concentração da solução em equilíbrio, o tempo de contato, a textura, o pH, o teor de matéria orgânica e a composição mineralógica do solo. O pH e a textura são os fatores que mais afetam a absorção e lixiviação de boro (B). Enquanto o pH aumenta, a adsorção de B diminui a partir de pH 9,0, devido à fraqueza do ácido bórico. O boro (B) tem uma grande afinidade com os hidróxidos de ferro e alumínio (Tomicioli *et al.*, 2021).

Os hidróxidos de ferro, assim como o silicato de alumínio, apresentam uma afinidade maior pelo boro (B) em comparação com os hidróxidos de ferro isoladamente. Quando o boro é adicionado ao solo, seja como fertilizante ou não, ele permanece solúvel e pode ser lixiviado, especialmente na forma de  $H_3BO_3^-$ , predominante na faixa de pH ideal para a cultura (5,5-6,0), sendo assim absorvido pelas plantas. A maior parte do boro disponível para a planta está presente na matéria orgânica do solo e, sob condições favoráveis de decomposição, como calor, alta umidade e boa aeração — que aumentam a atividade microbiana —, há um acréscimo no teor de boro na solução. Nos solos do cerrado, concentrações de boro na faixa de 0 a 0,2 mg/dm<sup>3</sup> são consideradas baixas, enquanto concentrações acima de 0,5 mg/dm<sup>3</sup> são classificadas como altas (Oliveira *et al.*, 2024).

### Boro na planta

Os hidróxidos de ferro, assim como o silicato de alumínio, têm maior afinidade com o boro (B) do que os hidróxidos de ferro. O boro que é adicionado ao solo, seja como fertilizante ou não, permanece solúvel e pode ser lixiviado (Silva *et al.*, 1995), especialmente

na forma de  $H_3BO_3^-$ , que é predominante na faixa de pH (5,5-6,0) apropriada para a cultura, e é absorvido pelas plantas. A maior parte do B disponível para a planta está presente na matéria orgânica do solo, e em condições favoráveis à sua decomposição, como calor, alta umidade, boa aeração e, conseqüentemente, um aumento da atividade microbiana, ocorre um aumento no teor de B na solução. A faixa de boro (água quente) a ser considerada baixa no cerrado é de concentrações que variam de 0 a 0,2 mg/dm<sup>3</sup>, enquanto teores médios são considerados teores médios e concentrações superiores a 0,5 mg/dm<sup>3</sup> são consideradas altas (Oliveira *et al.*, 2024).

A mobilidade do boro nas plantas é reduzida, o que resulta em sinais iniciais de deficiência nos meristemas e áreas de crescimento, devido à sua maior exigência. Em condições fisiológicas normais, o boro é ácido bórico  $H_3BO_3^-$  ou ânion borato  $H_2BO_3^-$ , em valores de pH no apoplasto (pH 5,5) A maior parte do B é composta por  $H_3BO_3$  e a menor parte é composta por borato.

Todavia, as duas formas podem reagir com diversos tipos de moléculas orgânicas (complexo borato-diol). As plantas necessitam de B para diversas etapas de seu crescimento, como: crescimento, divisão celular e metabolismo do ácido nucleico, germinação do grão de pólen, crescimento do tubo polínico, além de síntese de proteínas e aminoácidos, e transporte interno de açúcares amidos, como nitrogênio (N) e fósforo (P) (Garcia, 2020).

O boro possui uma função fundamental no aumento do pegamento das flores e no enchimento dos grãos em diversas culturas, reduzindo a esterilidade masculina e o abortamento dos grãos. Além disso, esse nutriente é fundamental para o desenvolvimento das raízes, pois está envolvido nos processos de divisão e expansão celular. A deficiência de boro pode prejudicar o crescimento das raízes, dificultando a capacidade da planta de alcançar camadas mais profundas do solo para obter água e nutrientes. O boro é absorvido principalmente por difusão e pelo fluxo de massa, mas a falta de água pode limitar seu contato com as raízes, reduzindo, assim, a eficiência de sua absorção (Nunes, 2023).

Em algumas espécies vegetais, a mobilidade do boro é reduzida devido às suas formas complexas de baixa solubilidade, o que torna difícil a redistribuição das folhas mais velhas para áreas de maior demanda, como os meristemáticos. Por isso, é fundamental garantir uma oferta constante desse micronutriente para a planta, seja preferencialmente por via radicular ou aplicado diretamente no tecido alvo.

### **Boro na cultura da soja**

Estudos mostram que a utilização de boro em estádios de V6 a R5 tende a ter os melhores resultados, uma vez que é nesse período que as plantas necessitam de maior quantidade do nutriente para a formação e enchimento de grãos. A utilização de boro durante a floração e pós-floração, enquanto as maiores demandas de boro se concentram nos estádios de R1 a R5, devido à diversidade de necessidades nutricionais da soja em relação ao seu desenvolvimento. Os estádios reprodutivos são os que mais demandam, através da formação de órgãos reprodutivos, como tubo polínico e pegamento de vagens (Rios *et al.*, 2022).

As variedades de soja BRS 245 RR, BRS MG 705S RR, BRS Favorita e Conquista possuem quantidades crescentes de boro aplicadas via folha nas doses de 0,5 a 2,0 kg/ha nos estádios R1 e R3. Na cultura da soja, usando a cultivar Nidera 4990, não houve diferença significativa para a época de aplicação, mas sim a aplicação de B (1 kg ha<sup>-1</sup>) para o número de vagens por planta (Garcia, 2020).

Ao analisar as doses (0, 100, 200, 300 e 400 g/ha-1 de B) e as épocas de aplicação foliar de boro na soja (V5, V9 e R3), a variedade M-SOY 8411 não apresentou resultados significativos em termos de produtividade e qualidade das sementes, assim como em relação às doses e épocas de aplicação. Ao avaliar a qualidade das sementes e os componentes de rendimento das cultivares de soja Cometa e BR 16, aplicando uma solução de cloreto de cálcio (0,5% de Ca) e borato de sódio (0,25% de B) nas fases de pré-floração, floração, pós-floração e pré-colheita, não se observou nenhum impacto significativo na qualidade dos grãos em ambas as cultivares. Ao avaliar a qualidade das sementes e os componentes de rendimento das cultivares de soja Cometa e BR 16, aplicando uma solução de cloreto de cálcio (0,5% de Ca) e borato de sódio (0,25% de B) nas fases de pré-floração, floração, pós-floração e pré-colheita, não se observou nenhum impacto significativo na qualidade dos grãos em ambas as cultivares. No entanto, houve resultados significativos em relação ao peso de 100 sementes, ao número de vagens por planta e ao número de grãos por vagem na cultivar BR 16 após a aplicação da solução (Nunes, 2023).

Considerando que o boro não se move na planta e que diversas variedades de soja apresentam um crescimento incerto, é imprescindível realizar mais de uma aplicação para atender às demandas dos novos ramos. O objetivo é suprir a demanda por boro em diferentes estágios de desenvolvimento, usando a variedade BRS 214 RR, com os seguintes tratamentos: 1 kg ha<sup>-1</sup> de Boro na fase V4, 1 kg ha<sup>-1</sup> de Boro na fase R2; 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de Boro na fase V4 e 0,5 kg ha<sup>-1</sup> na fase R2v (Fidelis *et al.*, 2024).

### **Efeito do boro no enraizamento de plantas**

O boro é considerado um micronutriente oferecem diversas vantagens para as lavouras. Entre os benefícios do boro, destaca-se sua função essencial no desenvolvimento do sistema radicular das plantas. A seguir, exploramos como o boro influencia o enraizamento das plantas e como essa ação pode contribuir para o aumento da produtividade agrícola (Fidelis, *et al.*, 2024).

As raízes são fundamentais para as plantas, pois são elas que absorvem a água e os nutrientes essenciais para seu crescimento e produção. Com um sistema radicular robusto e bem desenvolvido, a planta consegue explorar uma área maior do solo, acessando mais facilmente os recursos de que precisa. Esse alcance maior também torna a planta mais resistente a condições adversas, como a falta de água, permitindo que ela enfrente melhores os desafios do meio ambiente (Nunes, 2023).

Além disso, as raízes das plantas criam várias interações positivas com os microrganismos do solo, o que pode favorecer ainda mais o seu desenvolvimento. Isso se dá, por exemplo, quando existem microrganismos que estimulam o crescimento nas raízes das plantas (Rios, *et al.*, 2022).

De maneira geral, é viável destacar os hormônios vegetais entre os principais elementos que controlam o crescimento das plantas. Os fitormônios ou hormônios vegetais são substâncias orgânicas biologicamente ativas produzidas pelas plantas, capazes de regular certos processos fisiológicos. A fim de enraizar as plantas, é necessário a produção do ácido indolacético (AIA), que é uma auxina que, em pequenas quantidades, atua no processo de alongação das raízes primárias. Quando em grande quantidade, o AIA está ligado à formação de raízes secundárias e radiculares (Nunes, 2023).

A produção de auxina pode ser regulada pela enzima AIA-oxidase, que, no que lhe concerne, sofre com o boro. De acordo com Mohamed S. Elmongy e outros cientistas em seu artigo Root Development, eles empregaram Indole-3-butyric Acid, Naphthalene Acetic Acid e Associated Biochemical Changes of Microshoots. O efeito benéfico do boro no processo de enraizamento de plantas foi apresentado pela primeira vez nos anos 60,

quando os cientistas Weiser e Blaney analisaram o seu efeito no cultivo de estacas de azevinho (*Ilex aquifolium* L.) (Leonardi, *et al.*, 2023).

Na década de 1990, pesquisas realizadas com culturas de grande importância econômica para o Brasil revelaram que o uso de boro em combinação com ácido indol butírico (IBA) proporcionou uma quantidade satisfatória de estacas enraizadas em plantas de café. Esses estudos demonstraram que o boro desempenha um papel fundamental no enraizamento das plantas, pois ele pode influenciar a regulação dos níveis internos de auxinas durante esse processo, além de cumprir outras funções essenciais para o desenvolvimento das raízes. Assim, o uso de fertilizantes com boro torna-se essencial para o crescimento saudável do sistema radicular das plantas, trazendo benefícios significativos para a agricultura (Garcia, 2020).

É importante destacar que o agricultor deve monitorar constantemente os níveis desse micronutriente no solo e nas plantas para determinar o momento ideal para a aplicação do boro. Além disso, é fundamental garantir que a aplicação do boro seja uniforme e escolher bem a fonte do nutriente. Nem todos os fertilizantes com boro têm uma composição que garante uma distribuição distribuída. Isso pode levar à separação dos nutrientes durante a aplicação, gerando desequilíbrios nutricionais no campo e prejudicando o desenvolvimento das plantas (Nunes, 2023).

Portanto, é possível notar que o boro é um nutriente indispensável para o crescimento apropriado das raízes das plantas, o que é extremamente relevante para a agricultura. Isso ocorre porque as raízes são o principal canal de absorção de água e nutrientes pelas plantas, além de serem a principal área de conexão dos microrganismos benéficos presentes no solo. Assim sendo, o agricultor deve monitorar a utilização de fontes de boro adequadas para assegurar o pleno desenvolvimento do sistema radicular das lavouras (Fidelis, *et al.*, 2024).

### **Manejo adequado de boro**

A mistura de fontes de boro sólidas e de baixa solubilidade, como as ulexitas e as colemanitas, é uma técnica bastante usada para aplicar boro no solo. As fontes são granuladas e têm entre 6-10% de boro. Para a aplicação, são adicionados adubos de plantio aos adubos convencionais. Este tipo de aplicação é conhecido como "separação". A separação dos grânulos das diversas matérias-primas que compõem o fertilizante formulado resulta no desbalanceamento da fórmula na embalagem, causando diferenças na aplicação.

Pode haver também uma má distribuição, já que os grânulos com boro não são distribuídos uniformemente na área, resultando em uma distribuição espacial muito desigual e reduzida. A Mosaic Fertilizantes disponibiliza o Aspire, uma fonte de potássio composta por duas fontes de boro, uma mais solúvel e outra que libera gradualmente o elemento. Assim, o nutriente boro é fornecido de forma gradual e constante para as plantas.

A ausência de interação entre os níveis de B e os níveis de P, K, Ca e Mg nas plantas indica que o B não afetou outros nutrientes, especialmente a relação B/Ca. Essa conexão em campo é particularmente importante, uma vez que o B e o Ca têm movimentos similares de solução do solo para o sistema radicular, que variam de acordo com as condições climáticas, solo e espécie ou cultivar. A calagem pode induzir à falta de B. A ausência de interação com o P, K e Mg seria esperada devido aos mecanismos específicos de absorção e transporte que regulam o movimento do B nas plantas, e diferentes daqueles que regulam o movimento dos mesmos nutrientes (Leonardi, *et al.*, 2023).

As plantas preferem a forma molecular não dissociada, que é mais comum em pHs abaixo de 7. A quantidade de P, K, Ca e Mg presente nas folhas de cultivares de soja

cultivadas em solução nutritiva até o florescimento depende da energia da célula para resistir ao potencial eletroquímico negativo predominante nos vacúolos (Nunes, 2023).

Como está na forma molecular (sem carga), sua absorção e transporte são, sobretudo, através da transpiração, em comparação com o  $\text{Ca}^{2+}$ , que enfrenta cátions monovalentes, como o  $\text{K}^{+}$ , nas membranas das células das raízes. Uma vez que são identificadas diferenças entre cultivares de soja em relação aos níveis críticos para deficiência e toxidez de B, fica claro a importância de conhecer a resposta de cada cultivar em relação à nutrição com esse nutriente (Fidelis, *et al.*, 2024)

Ademais, o êxito do cultivo depende da escolha adequada de cultivares e do manejo adequado da planta e do nutriente no campo, com o objetivo de aumentar a produção de grãos, sem depender da quantidade de B presente no solo. O IAC-1 foi o cultivo que exigiu maior cuidado, já que estava restrito a uma faixa mais restrita de suficiência de B, o que o deixou mais vulnerável à falta (apesar dos maiores teores nas folhas) e pouco tolerante ao excesso. Por outro lado, os cultivares IAC-8 e IAC-15 foram os mais eficientes na absorção de B, retirando mais nutrientes da dieta, mesmo em dietas diluídas, o que pode trazer vantagens em condições de campo. O IAC-17 mostrou uma tolerância maior ao excesso de B (Carvalho *et al.*, 2024).

O baixo teor de micronutrientes nas culturas, que dificulta o crescimento, tem um efeito direto no seu desenvolvimento, além de diminuir a eficiência de uso dos fertilizantes com macronutrientes. Em alguns casos, a carência de macronutrientes pode ser superada por métodos indiretos, que não incluem a adubação direta.

Além disso, é importante ter em mente que os micronutrientes estão diretamente relacionados à fase reprodutiva e ao crescimento das plantas, o que resulta na determinação da produtividade e do desempenho na colheita da cultura. A compreensão da fisiologia da planta, pragas, doenças e principais daninhas é tão importante quanto (Nunes, 2023).

Para quem produz ou pretende produzir, será útil para traçar estratégias de manejo, pois, como estamos vendo nesse texto, nem sempre damos importância aos micronutrientes, por exemplo, e, ainda assim, a falta deles interfere na colheita. As análises mostraram, inclusive, a ausência de alguns micronutrientes nos nossos solos, como o boro. Os solos sob o Cerrado são os mais importantes, pois o cultivo de grãos tem se expandido a cada ano (Tomicioli, *et al.*, 2021)

A cultura do trigo tem se tornado cada vez mais relevante no cenário regional devido à sua elevada rentabilidade nas últimas safras. Isso leva os produtores que, muitas vezes, não dão importância a certos procedimentos importantes da cultura a reverem essa prática de forma mais aprofundada. Desta forma, procura-se melhorar as práticas de cultivo e as condições de produção para aumentar os lucros dessa cultura, que vem ganhando importância na rentabilidade e no balanço financeiro positivo da propriedade, especialmente em épocas de seca na colheita de soja (Oliveira, *et al.* 2024)

Os procedimentos relacionados à nutrição incluem todos os cuidados relacionados ao NPK, mas existem outros nutrientes cruciais para a cultura, como zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B) e molibdênio (Mo). Todos eles são considerados micronutrientes. Por serem "micro", isso não significa que sejam menos relevantes que os "macro" (N, P, K, Ca, S e Mg), mas sim que a produção de trigo requer uma quantidade menor deles por hectare. A planta completa seu ciclo com os mesmos nutrientes, tanto em termos de macronutrientes quanto em termos de micronutrientes. A diferença é que uma planta necessita dos macronutrientes em quantidades medidas em quilogramas, enquanto os micronutrientes são exigidos em gramas (Oliveira, *et al.*, 2024).

Dentre esses micronutrientes, o Zn é um dos mais relevantes para o crescimento das plantas de trigo, sobretudo nos primeiros estágios da cultura. Isso se deve ao seu papel na formação de triptofano, um aminoácido precursor da auxina, um hormônio que está diretamente relacionado ao crescimento e ao desenvolvimento da planta. Os produtos que são solúveis em água geralmente são sais puros e de maior concentração. Ao serem aplicados no solo, liberam rapidamente o boro na solução. Devido à imobilidade do floema e à pouca mobilidade da planta. Ao examinar o momento de aplicação, destacamos os principais eventos metabólicos das plantas e em que estágio elas necessitam desse nutriente. Levando em conta a cultura da soja, seria vantajoso realizar de três a quatro intervenções nas fases iniciais, que compreendem a fase vegetativa, reprodutiva e de enchimento. Durante muito tempo, as fontes mais empregadas para a aplicação de boro em áreas de grãos foram o ácido bórico e o octaborato.

É perceptível que a má qualidade dos componentes empregados e a reação alcalina do octaborato em solução afetam a eficácia do glifosato, resultando em um aumento do pH da mistura e, conseqüentemente, em uma diminuição da eficácia do dessecante. Pesquisas mostram que essas fontes têm mais facilidade para se lixiviarem no solo, assim como podem causar sintomas de toxidez nas plantas. A dessecação fornece uma grande quantidade de boro para as plantas em um curto espaço de tempo, sendo que a maior parte disso será eliminada pela água da chuva, restando apenas uma pequena quantidade para a planta absorver.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O boro nas plantas é um micronutriente fundamental para o crescimento vegetal, sendo estável no floema e de grande circulação no solo. Pode ser encontrado na forma de ácido bórico e, em ambientes com pH elevado, como borato. Em condições tropicais e arenosas, tem grande capacidade de lixiviar, enquanto em terrenos argilosos, tem fixação e maior disponibilidade. A absorção pelo solo é preferível, com pouca redistribuição na planta. Dessa forma, os sinais de deficiência surgem nos tecidos jovens e nas raízes.

A colheita de soja e milho demanda cuidados específicos com relação a esse nutriente, pois as dicotiledôneas são naturalmente mais exigentes e precisam de uma aplicação controlada. No Brasil, a perda excessiva de boro por lixiviação é comum, resultado das características do solo e do regime de chuvas sazonais. Por esses motivos, é necessário fazer adubações com boro todos os anos nas áreas de cultivo mais intensivas.

A adubação foliar, também chamada de "pulverização foliar", é considerada um ajuste na nutrição e até um complemento para a adubação. É importante observar a imobilidade do boro nas plantas, bem como as doses e a substância química utilizada. É comum mencionar questões como incompatibilidade e até mesmo problemas com as aplicações. As fontes mais requisitadas variam de acordo com o fabricante e a tecnologia empregada, como o ácido bórico e a boro etalonamina, que são extremamente solúveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carvalho, Ivan Ricardo; et al. **Plantas de lavoura: Culturas de A-D**. Editora CRV, 2024. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-br&lr=&id=tcabeqaaqbaj&oi=fnd&pg=pa1945&dq=import%C3%82ncia+do+boro+no+enraizamento+da+soja&ots=jcwvmzfcz8&sig=99cbwnz5uvu2k9odaufgeta-9sa#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 28 de julho de 2024.

Fidelis, Rodrigo Ribeiro; et al. Effect of concentrations, times of sweet algae extract applications on soybean development and productivity. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 2, p. e5170-e5170, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/5170>. Acesso em: 28 de julho de 2024.

Floss, Elmar Luiz; Floss, Luiz Gustavo. Maximizando a produtividade da soja. **Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja**, p. 227, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Amanda-Martins-11/publication/363885268\\_Fertilidade\\_do\\_solo\\_e\\_nutricao\\_para\\_cultura\\_da\\_soja/links/63335a0913096c2907d43c95/Fertilidade-do-solo-e-nutricao-para-cultura-da-soja.pdf#page=228](https://www.researchgate.net/profile/Amanda-Martins-11/publication/363885268_Fertilidade_do_solo_e_nutricao_para_cultura_da_soja/links/63335a0913096c2907d43c95/Fertilidade-do-solo-e-nutricao-para-cultura-da-soja.pdf#page=228). Acesso em: 29 de julho de 2024.

Garcia, Monica. **Caracterização morfofisiológica de sementes e plântulas de soja e milho em resposta diferencial à conjugação TSI e glifosato**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <https://repositorio.ufpel.edu.br/handle/prefix/6408>. Acesso em: 29 de julho de 2024.

Leonardi, Mateus; et al. **Estabelecimento inicial e produtividade da canola sobressemeada a soja e seus entraves em clima subtropical**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/29550>. Acesso em: 30 de julho de 2024.

Nunes, Camila de Avia. **Tratamento de sementes de soja com produtos à base de fertilizantes e biofertilizantes**. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/13286>. Acesso em: 28 de julho de 2024.

Oliveira, Juliete de Sousa; et al. **Microrganismos associados à adubação na promoção de crescimento em plantas de milho crioulo (Zea mays L.)**. 2024. Tese de Doutorado. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2262>. Acesso em: 29 de julho de 2024.

Oliveira, Laiane Ramos; et al. Uso do produto Surround® WP na escaldadura, crescimento vegetativo e produtividade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). **Revista Faculdades do Saber**, v. 9, n. 20, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://rfs.emnuvens.com.br/rfs/article/view/253>. Acesso em: 29 de julho de 2024.

Rios, Cleiton Vinicius; et al. Efeito do cálcio, boro e potássio no crescimento inicial de hortelã-verde (*Mentha spicata* L.) em solução nutritiva. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2022. Disponível em: <https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/cientifica/article/view/5945>. Acesso em: 30 de julho de 2024.

Tomicioli, Rafael Magro; et al. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. **South American Sciences**, v. 2, n. 1, p. e21100-e21100, 2021. Disponível em: <https://southamericansciences.com.br/index.php/sas/article/view/100>. Acesso em: 30 de julho de 2024.