



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
LSO - DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PACES - PROJETANDO AGRICULTURA COMPROMISSADA EM
SUSTENTABILIDADE

ADUBAÇÃO DE BORO NA AGRICULTURA

GABRIEL JOÃO MOREIRA DE LUCAS
KAIO EDUARDO PIRES ÁLVARES

Piracicaba
2023

GABRIEL JOÃO MOREIRA DE LUCAS
KAIO EDUARDO PIRES ÁLVARES

ADUBAÇÃO DE BORO NA AGRICULTURA

Revisão bibliográfica apresentada ao grupo de extensão PACES – Projetando Agricultura Compromissada em Sustentabilidade, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP) no Departamento de Ciência do Solo – LSO.

Orientadores: Profº Dr. Fernando Dini Andreote e Profº Dr. Moacir Tuzzin de Moraes.

Coordenadores: Rodrigo Bachega e João Gonçalves Oléa Leone.

Piracicaba
2023

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 4 |
| 2. FONTES DE BORO..... | 5 |
| 3. EXIGÊNCIAS..... | 10 |
| 4. DEFICIÊNCIA E TOXIDEZ..... | 12 |
| 5. ADUBAÇÃO..... | 14 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 22 |
| REFERÊNCIAS..... | 23 |

1. INTRODUÇÃO

O boro, representado pela letra B na tabela periódica, de número atômico 5, do segundo período e pertencendo a classe dos semimetais (HOLZLE, 2010). Faz parte do grupo dos micronutrientes na agricultura, sendo exigido na ordem de mg/kg, entretanto, é o mais requisitado desse grupo, sendo conhecido como “o macro dos micros”. Mesmo com sua baixa quantidade requerida pelas plantas, desempenha papéis fundamentais para o desenvolvimento e produtividade das culturas (MECHI, 2022). Diante disso, e do fato que o boro é o micronutriente com deficiência mais comum no Brasil em culturas anuais (MALAVOLTA, 2006), é de grande importância o conhecimento acerca de suas fontes, funções, sintomas, aplicações e como ele se comporta no solo e na planta.

Se tratando do boro no solo, possui comportamento aniônico e é principalmente encontrado na solução do solo como ácido bórico (H_3BO_3). Para valores de pH acima de 7,0, essa molécula pode sofrer dissociação e ocasionar no aparecimento da forma $H_2BO_3^-$. Os teores no solo desse nutriente são variáveis e não se encontram uniformemente distribuídos na crosta terrestre. Em amostras coletadas superficialmente pelo mundo foram encontrados valores de 1 mg/kg a 467 mg/kg, e valores médios de 9 mg/kg a 85 mg/kg. Além disso, o boro é o décimo segundo elemento em abundância na água do mar. O nutriente tem a capacidade de passar para a atmosfera em formas de gotículas de água salgada e como vapor do ácido bórico (MALAVOLTA, 2006).

Esse micronutriente é requerido em pequenas quantidades pelas plantas, na ordem de mg/kg de matéria seca, porém é essencial para que se complete o ciclo, como comentado anteriormente. O boro desempenha importantes funções na planta, visto que compõe a parede celular, garantindo integridade à membrana plasmática, faz parte de processos metabólicos da planta, participa do transporte de açúcares e da germinação do grão de pólen (MACHADO, 2022). É importante conhecer também funcionamento do nutriente no sistema planta, entendendo o sistema solo-planta integralmente, do solo até sua incorporação em composto orgânico ou ativador enzimático, que desempenha funções vitais para a máxima acumulação de matéria seca do produto de interesse (PRADO, 2008).

2. FONTES DE BORO

Diante da importância do boro para o funcionamento do metabolismo vegetal, é crucial conhecer as variadas fontes desse nutriente, visto que se comportam de forma diferente, tanto no solo, quanto na aplicação, principalmente por sua solubilidade.

Se tratando do ácido bórico, era usado quase que exclusivamente na adubação via solo, entretanto, devido a sua alta solubilidade, era muito perdido pela lixiviação. Com isso, ganharam espaço fontes que apresentam menor solubilidade que esse, como a ulexita que é insolúvel, e a colemanita que apresenta solubilidade média (SILVESTRIN, 2020). Os fertilizantes de boro, conhecidos como boratos, podem receber uma classificação que se divide em divide entre os que o material de origem passou por processo de refinamento, classificados como boratos refinados (ácido bórico, octaborato de sódio tetrahidratado, borax decahidratado, borax pentahidratado e o bórax anidro); e os que o material de origem não passou por processos de refinamento, classificados como boratos minerais ou não refinados (hidroboracita, colemanita e ulexita) (SILVESTRIN, 2020).

O ácido bórico (H_3BO_3) pode se apresentar na forma de cristais incolores ou na forma de pó branco de alta solubilidade em água, com uma garantia de 17 a 18% de boro. Apesar de sua alta utilização, esse fertilizante pode apresentar limitações, devido às perdas de nutrientes no solo pelo processo de lixiviação, uma vez que por sua alta solubilidade não há bom equilíbrio de liberação e absorção. Além disso, após a aplicação do fertilizante já foram notados sintomas de toxidez em culturas sensíveis e em estádios iniciais (VELOSO, 2020).

Também há o borato de sódio, ou bórax, sendo um fertilizante de alta solubilidade em água e pode ser encontrado em diferentes graus de hidratação, sendo eles: decahidratado ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), com garantia de 11% de boro; pentahidratado ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$), com 15% de B; e a forma anidro ($Na_2B_4O_7$), com cerca de 21% do nutriente. Da mesma maneira que o ácido bórico, podem ser limitados por suas características de solubilidade, que aumenta a lixiviação (VELOSO, 2020). O borato de cálcio pentahidratado, conhecido também como colemanita, $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$, é outro exemplo de fonte utilizada na agricultura, e contém também cálcio em sua composição, possuindo solubilidade mediana, garantindo maior eficiência no fornecimento de boro para as plantas. Pode ser

empregada tanto isolada ou agregada a outros fertilizantes, com atenção para a segregação (VELOSO, 2020).

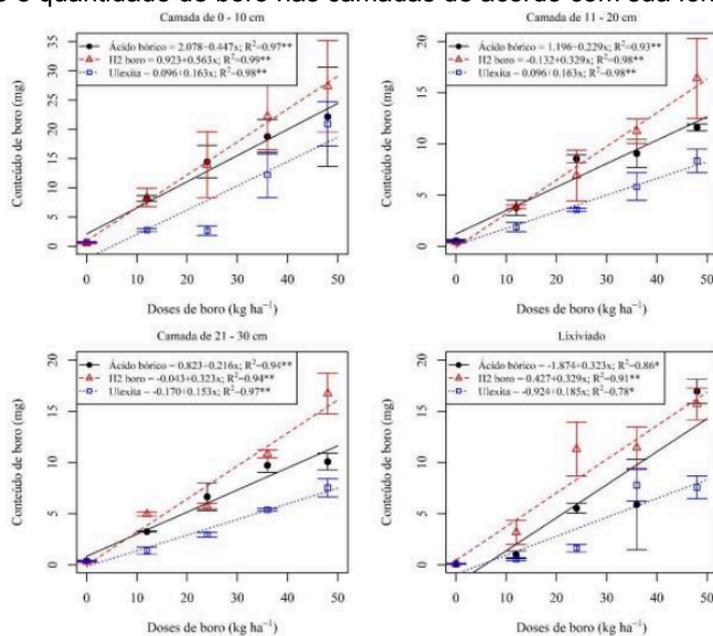
Tabela 1: Fontes de boro, suas fórmulas e garantias.

| Fonte | Fórmula | Garantia (% B) |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| Ácido bórico | H_3BO_3 | 17,5 |
| Octaborato de sódio | $Na_2B_8O_{13}.4H_2O$ | 20 |
| Pentaborato de sódio | $NaB_5O_8.5H_2O$ | 18 |
| Tetraborato de sódio | $Na_2B_4O_7.5H_2O$ | 15 |
| Ulexita | $NaCaB_5O_9.5H_2O$ | 10 |
| Colemanita | $Ca_2B_4O_7.6H_2O$ | 10 |
| Hidroboracita | $CaO.MgO.3B_3O_3.6H_2O$ | 10 |

Fonte: Adaptada de Otto (2022).

De acordo com experimentos realizados por Silva (2019), foi abordada a lixiviação das diferentes fontes com diferentes doses de boro, em diferentes profundidades, na cidade de Ipameri/GO, em um latossolo. A ulexita foi a que apresentou menor conteúdo de B solúvel no perfil dos solos analisados. O ácido bórico e o H₂ boro, fontes com comportamento mais solúvel, foram altamente lixiviados no perfil do solo, independente das doses.

Figura 1: Lixiviação e quantidade de boro nas camadas de acordo com sua fonte e dose aplicadas.



Fonte: Silva (2019).

O estudo de Maculan (2020) teve como objetivo avaliar o crescimento e rendimento da cultura do trigo em resposta a diferentes doses e formas de aplicação do boro utilizando quatro tratamentos: testemunha sem adição de B; fertilização via sulco (octaborato de sódio 20,5% de B, 1,0 kg ha⁻¹); fertilização foliar (octaborato de sódio 2% de B, 150 mL ha⁻¹) e fertilização via sulco + foliar (1,0 Kg ha⁻¹ de octaborato de sódio 20,5% + foliar 150 mL ha⁻¹ de octaborato de sódio 2% de B), onde foi avaliado o comprimento do sistema radicular e a parte aérea, além da massa seca da planta e do rendimento de grãos.

Como resultado, foi observado que o comprimento da raiz não houve diferença significativa nos tratamento em que foi realizada a adubação boratada, no entanto, o comprimento da parte aérea foi maior quando a aplicação foi realizada nas folhas. Brunet *et al.* (2016) obteve dados semelhantes, tendo maior comprimento da parte aérea nas plantas que receberam adubação com boro na semeadura e 15 dias após a floração.

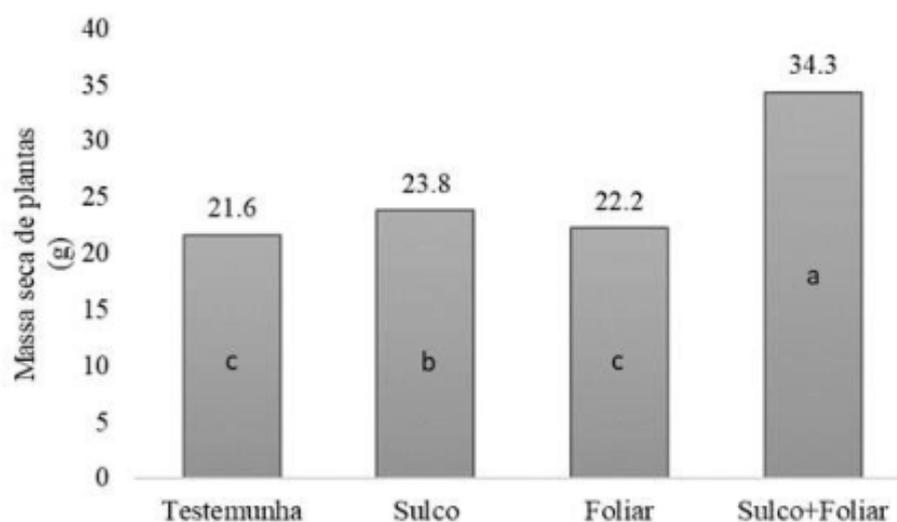
Tabela 2: Comprimento das raízes e da parte aérea do trigo ao final do estágio vegetativo submetidos a aplicações com boro.

| Tratamento | Comprimento raiz cm | Comprimento parte aérea cm |
|--------------|---------------------|----------------------------|
| Testemunha | 12,38 b | 53,30 b |
| Sulco | 16,52 a | 57,58 ab |
| Foliar | 18,80 a | 60,44 a |
| Sulco+Foliar | 19,52 a | 55,98 ab |
| CV % | 13,34 | 4,99 |

Fonte: Maculan (2020).

Aliado a isso, o tratamento que foi aplicado Sulco+foliar alcançou um maior acúmulo de massa seca pelo trigo, sendo possível observar que para essa variável a aplicação foliar não obteve resultados satisfatórios, uma vez que não diferiu estatisticamente à testemunha, que não recebeu adubação, como observado na figura abaixo.

Figura 2: Massa seca da parte aérea e raízes das plantas de trigo ao final do estágio vegetativo



Fonte: Maculan (2020).

Apesar disso, todos os tratamentos que receberam adubação boratada resultaram em produção superior à testemunha, sendo que obteve maior número de espigas na aplicação via foliar e sulco+foliar, uma vez que o boro apresenta importante função para os grãos de trigo, favorecendo o enchimento e reduzindo a

possibilidade da esterilidade, em consequência, melhor estabelecimento dos grãos na cultura do trigo. (TAHIR et al., 2009). Esse rendimento superior para as plantas adubadas com boro se dá graças ao favorecimento da germinação do tubo polínico e o estabelecimento das espigas realizado pelo boro quando aplicado em fases de desenvolvimento dos órgãos sexuais masculinos do trigo. É possível observar os dados citados na tabela abaixo.

Tabela 3: Número de espigas e rendimento da cultura de trigo

| Tratamento | Número de espigas por planta | Produção por planta (g) |
|--------------|------------------------------|-------------------------|
| Testemunha | 3,64 c | 6,12 d |
| Sulco | 4,30 bc | 7,40 c |
| Foliar | 5,44 a | 8,72 b |
| Sulco+Foliar | 5,72 a | 9,58 a |
| CV % | 13,44 | 2,14 |

Fonte: Maculan (2020).

Com isso, é possível observar que o tratamento com adubação realizada via sulco+foliar apresentou rendimento superior de 56,5% em relação a testemunha e 10% em relação à adubação foliar.

3. EXIGÊNCIAS

O boro é um micronutriente essencial para as culturas brasileiras e desempenha um papel fundamental em seu crescimento e desenvolvimento. As demandas de boro variam entre plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas. Em monocotiledôneas, o teor de boro nos tecidos varia de 6 a 18 mg/kg, enquanto nas dicotiledôneas, esse valor aumenta para 20 a 60 mg/kg. Portanto, as plantas dicotiledôneas, como o algodoeiro, as brássicas, o girassol, a soja, o amendoim e a alfafa, têm uma maior exigência por boro em comparação às gramíneas (PRADO, 2008).

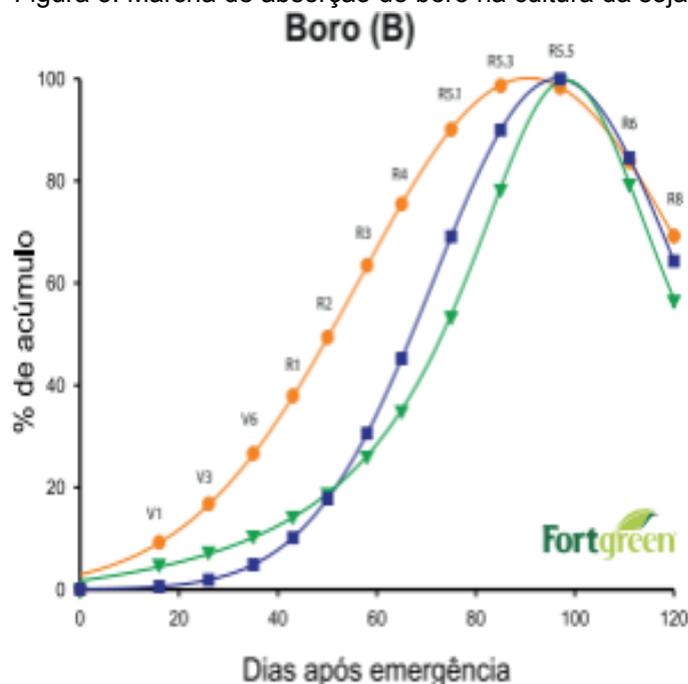
Plantas tuberosas e produtoras de látex também estão entre as culturas que demandam significativamente esse micronutriente. A deficiência de boro em tais plantas pode resultar em uma série de problemas, afetando o desenvolvimento e a produção. A quantidade de boro extraída pelas culturas está diretamente relacionada à produtividade. Por exemplo, na cultura da soja, a extração é de aproximadamente 277 gramas de boro para 60 sacas por hectare, enquanto no milho, são necessários cerca de 173 gramas de boro para 150 sacas por hectare. No algodão, a cultura extrai cerca de 537 gramas de boro para uma produção de 300 arrobas por hectare, e na cana-de-açúcar, são necessários aproximadamente 282 gramas de boro para produzir 120 toneladas por hectare (PRADO, 2008).

A quantidade de boro extraída pelas culturas também depende da capacidade das plantas de acumularem esse micronutriente em suas paredes celulares. Culturas com maior quantidade de pectina em suas paredes celulares tendem a acumular mais boro. No entanto, isso pode dificultar a quantificação precisa do boro nas plantas, especialmente nas folhas, devido à retenção do boro na cutícula foliar ou na camada péctica da parede celular.

A marcha de absorção do boro é um fator importante a ser considerado para entender as necessidades das culturas em diferentes estágios de crescimento. No caso da soja, a absorção de boro no período inicial (primeiros 30 dias) é relativamente lenta. Posteriormente, a absorção acelera e atinge o pico entre 60 e 90 dias, dependendo da variedade. Após esse período, a velocidade de absorção diminui significativamente, especialmente após 100 a 120 dias. Geralmente, a fase reprodutiva da planta tem a maior demanda por boro, tornando a aplicação de boro

durante o crescimento vegetativo (V2) ou durante o estágio reprodutivo (até R2) benéfica para a produção de soja.

Figura 3: Marcha de absorção do boro na cultura da soja



Fonte: Oliveira Júnior *et al.* (2016).

Em resumo, as exigências de boro nas culturas agrícolas variam dependendo do tipo de planta, sua capacidade de acumulação e o estágio de crescimento. É fundamental entender essas demandas para garantir a produtividade e a qualidade das colheitas.

4. DEFICIÊNCIA E TOXIDAZ

A deficiência de boro nas plantas, devido à sua imobilidade no floema, se manifesta inicialmente em regiões mais jovens, como folhas e raízes. A carência deste micronutriente afeta rapidamente o metabolismo das plantas, resultando na redução da síntese de uracil e na prejudicial diminuição da produção de proteínas. O sintoma mais proeminente da falta de boro é o atraso ou a inibição no crescimento tanto da parte aérea quanto das raízes, podendo levar à morte das gemas terminais, estimulando o surgimento de brotações laterais. Isso se reflete na desorganização dos tecidos meristemáticos nas extremidades das raízes e ramos (PRADO, 2008).

Plantas carentes de boro também experimentam uma redução no transporte de carboidratos, que se acumulam nas folhas, uma vez que os drenos apresentam uma menor demanda metabólica. Além disso, devido ao papel do boro na reprodução, a deficiência desse nutriente resulta na esterilidade de culturas como o milho, levando à não formação e fecundação dos grãos e, portanto, a uma menor produção.

A carência de boro é associada à menor fecundação, especialmente em culturas como o milho. Além da formação desigual dos grãos, pode ocorrer a produção de espigas menores com uma quantidade reduzida de grãos. Portanto, a adição de boro é fundamental para o desenvolvimento adequado das espigas (OTTO, 2022).

Em experimentos realizados em condições de várzea, a cultura da soja demonstrou encurtamento dos internódios e nanismo, com caules mais espessos, prejudicando a colheita. Além disso, houve a formação de poucas flores com baixa taxa de pegamento, resultando em baixa produtividade. Esses problemas estão relacionados à germinação do pólen e ao desenvolvimento do tubo polínico (MASCARENHAS et al., 1988).

Outro sintoma de deficiência de boro que afeta as folhas inclui enrolamento, espessamento das folhas devido ao acúmulo de carboidratos e clorose internerval, com as pontas viradas para baixo. As folhas podem apresentar necrose devido ao acúmulo excessivo de fenóis e AIA. Além disso, plantas deficientes em boro têm sua absorção e translocação de cálcio e potássio afetadas (PRADO, 2008).

A linha que separa a quantidade adequada de boro da faixa tóxica é estreita, tornando os riscos de toxicidade no campo mais elevados, especialmente em solos

arenosos. Devido à diferença na taxa de transporte do nutriente para a parte aérea, a toxicidade resulta em um acúmulo de boro em regiões específicas.

Em um estudo com roseiras submetidas a diferentes doses de boro, foram observados sintomas de toxicidade nas folhas a partir de 4 mg/kg. Os sintomas incluíam manchas iniciais no limbo foliar, evoluindo para clorose e, em doses mais altas, resultando na queda das folhas.

Na maioria dos casos de toxicidade, os sintomas se manifestam como clorose manchada quando o teor de boro atinge cerca de 200 mg/kg. Essa condição pode evoluir para manchas necróticas nas bordas das folhas mais antigas, com teores superiores a 1500 mg/kg, devido à maior taxa de transpiração nessas áreas. Os níveis críticos variam de acordo com a cultura, por exemplo, 100 mg/kg para o milho e 1000 mg/kg para a abóbora (PRADO, 2008). A imagem a seguir mostra diferentes níveis críticos em diversas culturas.

5. ADUBAÇÃO

O boro é um micronutriente que está diretamente ligado a funções relacionadas à produção na planta, por esse motivo, deve ser fornecido em proporções corretas para as plantas, principalmente na cultura da soja, pois, de acordo com Furlani *et al.* (2001), esta cultura anual é exigente em Boro.

Esse nutriente é absorvido principalmente na forma não iônica, o ácido bórico, molécula muito móvel no solo e conseqüentemente com alta lixiviação, por isso, é necessário que seja feita sua adubação frequentemente. A adubação com boro pode ser realizada tanto no solo, quanto por via foliar. A maior resposta da planta à aplicação ocorre quando os teores de boro no solo estão baixos ou até médios. Estima-se que a absorção de B via solo pode ser 3,5 vezes superior à absorção pelas folhas, devido à baixa mobilidade no floema.

A necessidade de adubação de boro deve ser averiguada a partir da análise de solo. Para a cultura da soja, deve ser considerado o teor do nutriente no solo na camada superficial de 0 a 20 centímetros. Cerca de mais de 80% dos solos brasileiros possuem baixo teor de boro, sendo necessário a aplicação anualmente. Atualmente, devido à busca por alta produtividade é recomendado que se considere o nível crítico de boro no solo de 0,8 a 1,0 mg/dm³ (ZAVASCHI, 2020).

A adubação com utilização de Boro pode afetar a qualidade e fisiologia de sementes, o trabalho realizado por Oliveira (2023) teve como objetivo avaliar o efeito de doses utilizadas da adubação boratada em diferentes épocas de aplicação na cultura da soja. Os estágios aplicados foram: V0; V3; V6; V9 e R1 com a utilização de 6 diferentes doses de boro: 0; 1; 2; 3; 4 e 5 Kg ha⁻¹ via solo com ácido bórico como fonte.

Como resultado, foi observado que o índice de velocidade de germinação (IVG) foi diferente estatisticamente nos estágios V0, V3 e V9, tendo IVG médio de 9,85; 18,57 e 26,33, além disso, a condutividade elétrica foi maior nos estágios V0, R1 e V3, seguidos de V9 e V6, conforme observado na tabela 4. De acordo com Borsato *et al.* (2000) os valores mais baixos indicam uma menor liberação de exsudatos e, conseqüentemente, maior vigor. Para a variável índice de velocidade de germinação a aplicação de boro se fez mais eficaz quando aplicada com a presença de folhas e no estágio próximo à floração, no entanto, para a condutividade elétrica o resultado mais expressivo ocorreu quando a aplicação foi

realizada no momento da sementeira. Com isso, é possível afirmar que a adubação boratada é importante em diversas fases do desenvolvimento da cultura.

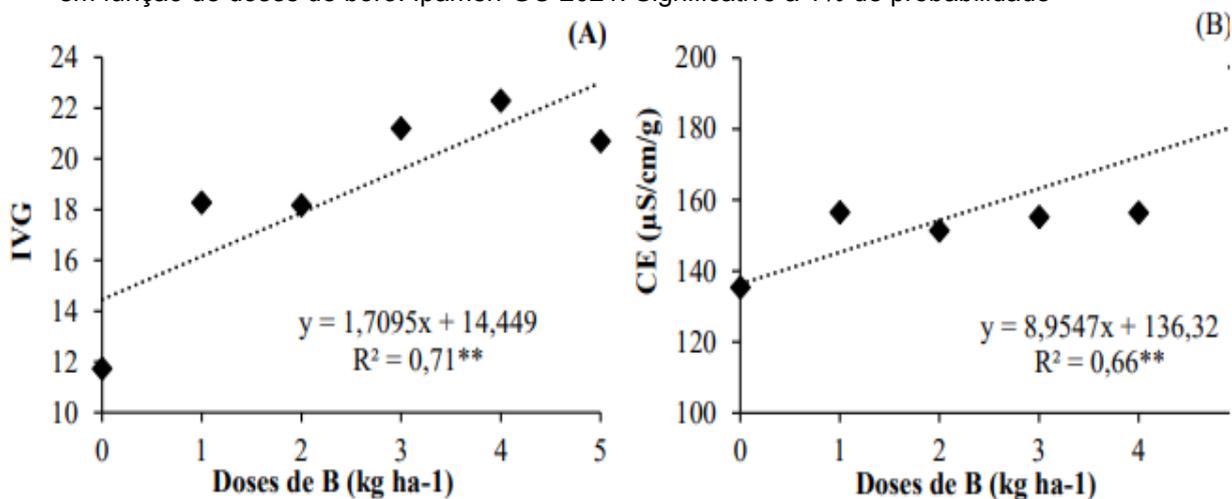
Tabela 4: Grau de umidade (GU), Primeira contagem da germinação (PCG), Germinação (G), Índice de velocidade de germinação (IVG) e Condutividade elétrica (CE) das sementes da variedade de soja IPRO 7110 sob doses e épocas de aplicação de Boro

| Estádio | GU | PCG | G | IVG | CE |
|-----------------------|-------------|----------|---------|----------|------------|
| | -----%----- | | | | μS/cm/g |
| ----- | | | | | |
| VO | 10,68 | 27,11 c | 38,88 b | 9,85 c | 174,52 a |
| V3 | 10,7 | 51,00 ab | 61,55 a | 18,57 b | 160,48 abc |
| V6 | 10,55 | 57,88 ab | 68,22 a | 20,07 ab | 145,04 c |
| V9 | 10,72 | 65,11 a | 72,88 a | 26,33 a | 151,08 bc |
| R1 | 10,29 | 49,00 b | 59,88 a | 18,76 ab | 162,41 ab |
| Valor de F | | 22,97 | 12,24 | 13,8 | 7,53 |
| Doses de B (kg/ha) | | | | | |
| 0 | 10,13 | 35,33 | 54,66 | 11,73 | 135,43 |
| 1 | 9,9 | 48,93 | 56,53 | 18,27 | 156,5 |
| 2 | 10,5 | 48,66 | 60 | 18,16 | 151,34 |
| 3 | 10,92 | 57,86 | 62,8 | 21,19 | 155,16 |
| 4 | 10,74 | 56,93 | 65,2 | 22,28 | 156,44 |
| 5 | 10,81 | 52,4 | 62,53 | 20,68 | 197,38 |
| Valor de F | | 4,63 | 0,94 | 5,06 | 20,05 |
| CV (%) | | 13,03 | 22,77 | 26,59 | 0,49 |

Fonte: Oliveira (2023).

Quando avaliado os valores de IVG é possível concluir que há um aumento linear conforme o aumento das doses de boro, assim como na condutividade elétrica há crescimento da CE conforme o aumento das doses de boro, que segundo Krzyzanowski *et al* (1999) os valores mais altos da condutividade elétrica ocorrem por uma liberação elevada de íons no meio em função do comprometimento da integridade das membranas, o que se relaciona com a sementes de baixa qualidade. É possível observar isto na figura abaixo.

Figura 4: Índice de velocidade de germinação (A) e Condutividade elétrica (B) de sementes de soja em função de doses de boro. Ipameri-GO 2021. Significativo a 1% de probabilidade



Fonte: Oliveira (2023).

Já na tabela 5 é possível observar que se obteve maior proporção de plântulas com vigor inferior para o estágio V0, já as de maior vigor foram encontradas com as aplicações em estágio V9, no entanto não difere estatisticamente do V3. A utilização de sementes com maior vigor resulta na maior possibilidade de uma população desejada de plantas, uma vez que mesmo sob condições de estresse essas sementes conseguem se estabelecer.

Os resultados mais expressivos encontrados no teste de envelhecimento acelerado (EA) foram com aplicações nos estágios V6 e V9, assim como o R1, tendo o V0 e V3 como destoantes dos resultados observados, relacionando com os resultados para a massa de mil grãos (M1000), onde nos estágios V0 e V3 foram medidos as maiores massas, enquanto nos estágios V6, V9 e R1 obtiveram menor peso. É possível observar os dados citados acima na tabela 5.

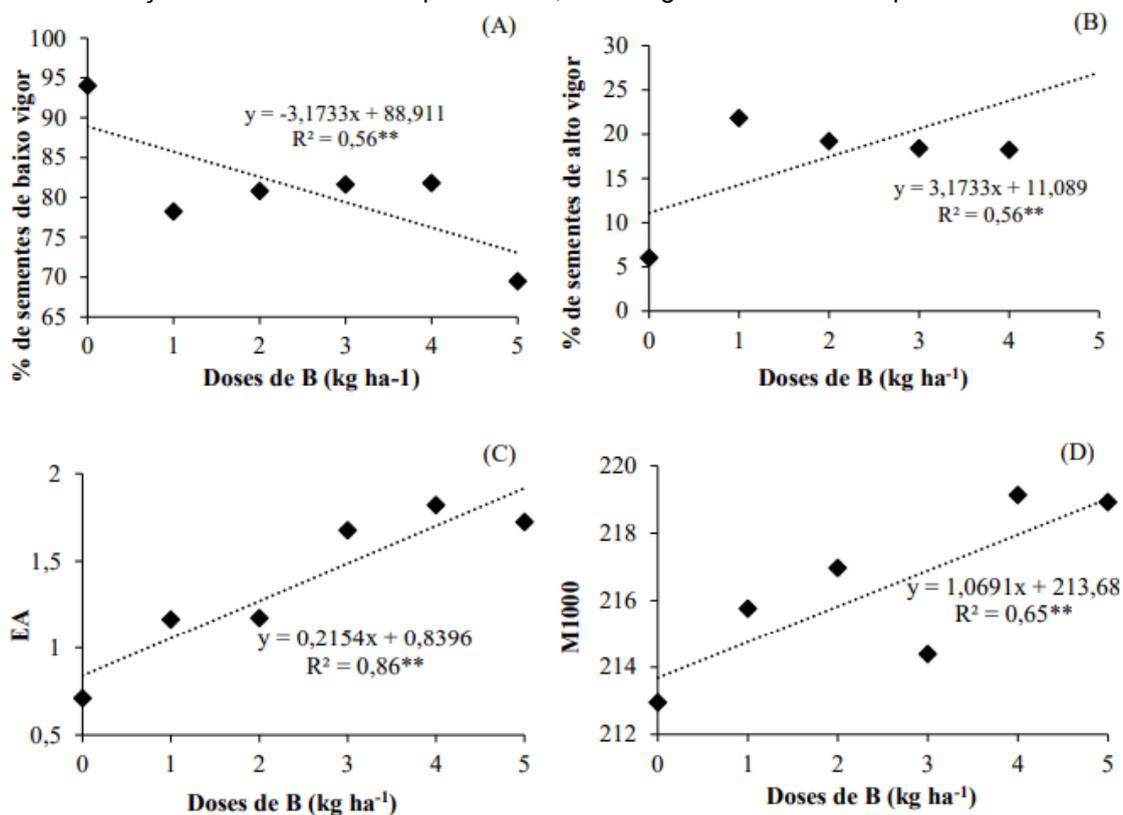
Tabela 5. Viabilidade de sementes obtidas através do teste de Tetrazólio (TZ), Envelhecimento acelerado (EA) e Massa de 1000 sementes (M1000), da variedade de soja IPRO 7110 sob doses e épocas de aplicação de boro

| Estádios | TZ (%) | | EA | M1000 |
|--------------------|-------------|------------|---------------------|----------|
| | Baixo vigor | Alto vigor | % Plântulas normais | g |
| V0 | 93,83 a | 6,16 d | 1,01 b | 218,64 a |
| V3 | 76,00 cd | 24,00 ab | 0,89 b | 219,99 a |
| V6 | 86,16 b | 13,83 c | 1,69 a | 214,82 b |
| V9 | 70,00 d | 30,00 a | 1,98 a | 214,30 b |
| R1 | 78,88 c | 21,11 b | 1,30 ab | 214,30 b |
| Valor de F | 86,62 | 82,31 | 7,57 | 15,97 |
| Doses de B (Kg/ha) | | | | |
| 0 | 94 | 6 | 0,71 | 212,95 |
| 1 | 78,2 | 21,8 | 1,16 | 215,76 |
| 2 | 80,8 | 19,2 | 1,17 | 216,96 |
| 3 | 81,6 | 18,4 | 1,67 | 214,38 |
| 4 | 81,8 | 18,2 | 1,82 | 219,14 |
| 5 | 69,46 | 30,53 | 1,72 | 218,92 |
| Valor de F | 47,03 | 45,19 | 5,74 | 10,53 |
| CV (%) | 11,45 | 11,25 | 13,1 | 1,49 |

Fonte: Oliveira (2023).

Como resultado do teste de tetrazólio é possível observar que para as sementes de baixo vigor as doses de boro diminuíram a % de sementes de baixo vigor, o que acontece de forma contrária para aquelas de alto vigor, além disso, tanto o envelhecimento acelerado quanto a massa de 100 grãos apresenta de forma crescente com o aumento das doses de boro utilizadas.

Figura 5: Viabilidade de sementes através do teste de Tetrazólio [viáveis de baixo vigor (A), viáveis de alto vigor (B)]; envelhecimento acelerado © e massa de 1000 grãos (D) de sementes de soja em função de doses de boro. Ipameri-GO,2021. Significativo a 1% de probabilidade

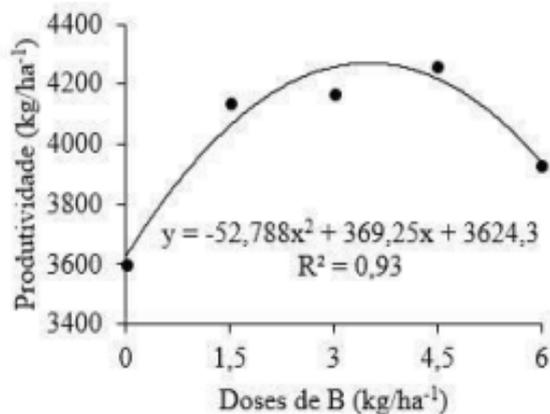


Fonte: Oliveira (2023).

Dessa forma, é possível afirmar que a aplicação de boro em todos os estágios apresenta algum ganho em vigor das sementes, independente do estágio de aplicação, no entanto, as doses de 2,13 a 2,90 Kg/ha de boro foram as que apresentaram resultados mais expressivos.

Em relação à produtividade, o estudo realizado por Buzatto (2023) demonstrou que, ao se aplicar 3,5 Kg/ha de boro no solo (sendo a fonte utilizada o ácido bórico), obteve-se maior produtividade da soja.

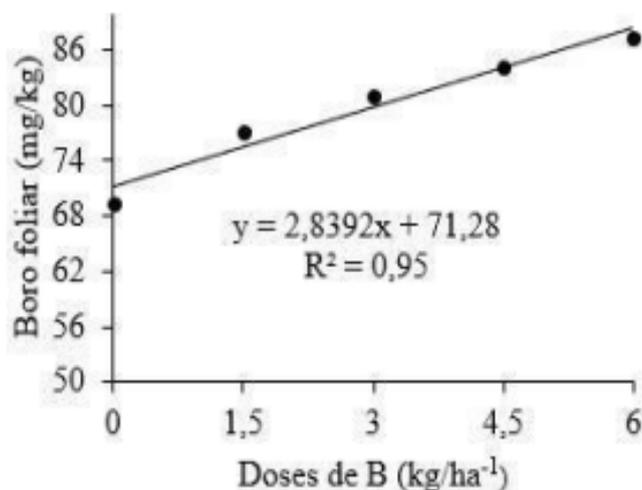
Figura 6: Produtividade da soja a partir de diferentes doses de boro aplicadas no solo



Fonte: Buzatto (2023).

A partir de doses maiores do que 3,5 Kg/ha de B, a produtividade da soja diminuiu. O teor de B nas folhas na dose que representa a máxima produtividade foi de 83 mg/Kg. Os teores de boro nas folhas em função da dose aplicada no solo se encontram na figura abaixo.

Figura 7: Teores foliares de boro em função da dose aplicada na adubação

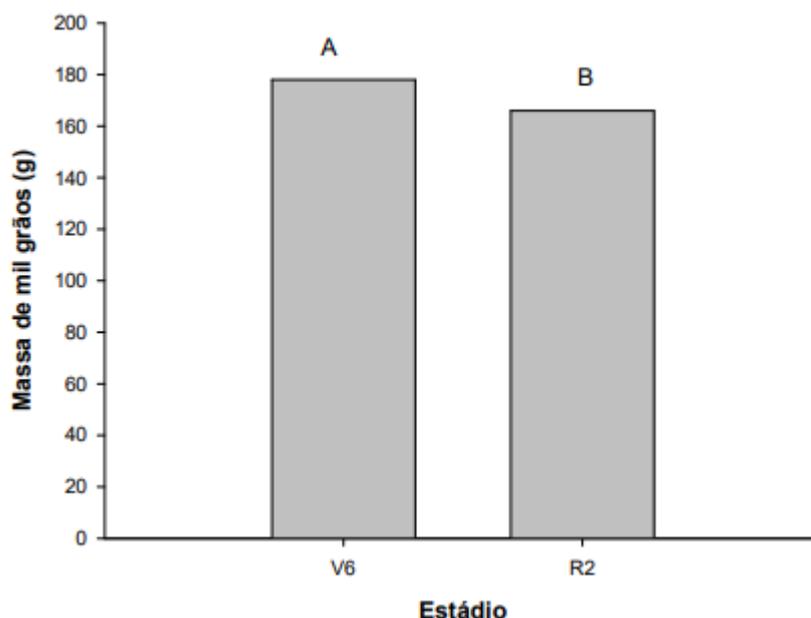


Fonte: Buzatto (2023).

Segundo Buzatto (2023), a recomendação de adubação para a cultura da soja no Cerrado - onde foi realizado o estudo - é de 2 Kg/ha de acordo com a Embrapa Cerrado. Ao comparar essa dose com os resultados do experimento apresentado, percebe-se que o aumento da produtividade da soja é resultado de doses mais altas de B do que a dose recomendada.

A aplicação foliar de boro também pode resultar em diferenças nos parâmetros agrônômicos dessa cultura; no estudo conduzido por Santos *et al.* (2019), observou-se o efeito de aplicações foliares de B em V6 e R2 na soja. A massa de 1000 grãos foi maior quando ocorreu aplicação em V6.

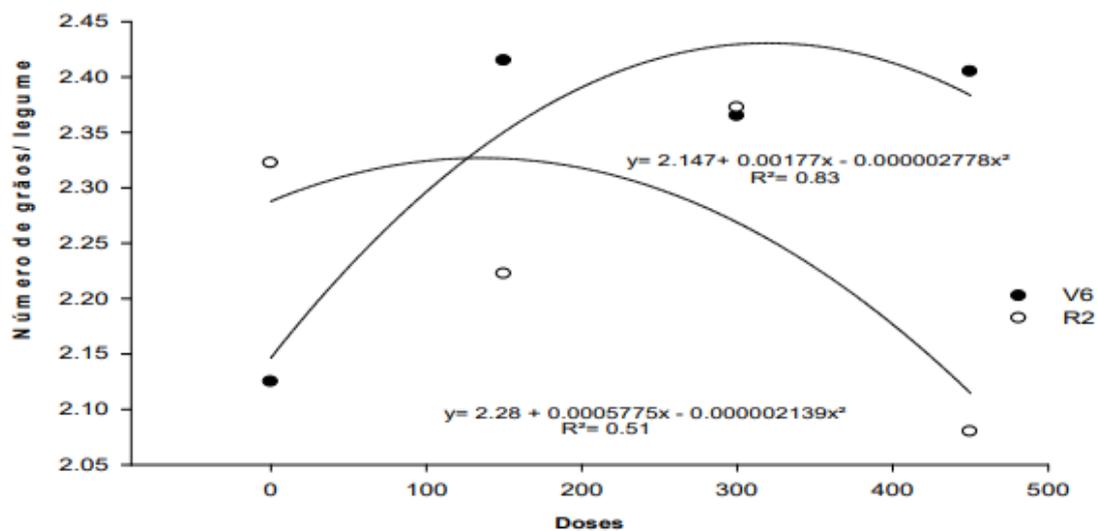
Figura 8: Massa de 1000 grãos em relação à época de aplicação de B foliar na soja



Fonte: Santos *et al.* (2019).

Ainda de acordo com esse estudo, observou-se que o número de grãos por vagem é alterado de acordo com a época de aplicação e a dose. Para aplicação em V6, observa-se maior número de grãos por legume com a aplicação de 320g/ha (2,43 grãos/vagem). Já em R2, foi obtido maior número de grãos por legume com a dose de 134 g/ha (2,31 grãos/vagem). Apesar de o número de grãos por vagem máximo ser menor em R2, a dose de maior eficácia foi menor do que a metade da dose de máxima eficiência aplicada em V6.

Figura 9: Número de grãos/legume em função da dose de B e época de aplicação foliar



Fonte: Santos *et al.* (2019).

Assim, deve-se verificar a época de aplicação que gera mais rendimento da cultura, sem ignorar, porém, os gastos com a quantidade aplicada de produto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todo o exposto no texto acima, foi possível compreender mais o boro, um nutriente exigido em pequenas quantidades, mas que desempenha um papel crucial no desenvolvimento e produtividade da cultura implementada.

Além disso, foi possível saber diferenciar as diferentes fontes de boro para que possa ser realizado uma adubação com uma melhor relação entre custo e benefício, conhecendo as vantagens e desvantagens de cada fonte, assim como seu desempenho no solo. Somado a isso, pode ser observado também os melhores momentos para a aplicação de boro nas culturas, de acordo com o estágio que se encontra.

É importante destacar a necessidade da utilização da dose correta de B para cada estágio fenológico da cultura: conforme os experimentos apresentados, doses muito altas desse nutriente podem gerar queda na produtividade. Além disso, a quantidade mais adequada de boro a ser aplicada depende muito da época de aplicação, sendo indispensável que esse fator seja considerado ao se fazer adubação com boro.

Portanto, com todos os experimentos e estudos apresentados, foi possível a interpretação correta e as correlações do boro na agricultura, buscando extrair o máximo do potencial genético da planta em relação à produtividade.

REFERÊNCIAS

BUZATTO, João Vitor Lacerda. **Efeito da aplicação de boro na nutrição e na produtividade da soja**. 2023.

FURLANI, A. M. C.; TANAKA, R. T.; TARALLO, M.; VERDIAL, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 25, n. 4, p. 929-937, 2001.

HOLZLE, L. R. B. **Boro**. 2010. Disponível em: <https://www.tabelaperiodica.org/boro/>. Acesso em: 23 out. 2023.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.4, p.1-26.

MECHI, I. A. **BORO, O MICRONUTRIENTE COM EFEITOS MACROS**. 2022. Disponível em: <https://brfertil.com.br/boro-o-micronutriente-com-efeitosmacros/>. Acesso em: 23 out. 2023.

MACULAN, Andressa Keli. **Crescimento e rendimento da cultura do trigo com aplicações de boro**. 2020. 1 v. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Agrônômica, Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, Dourados, 2019.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 629 p.

MACHADO, A. W. **Boro - tudo o que você precisa saber sobre este adubo**. 2022. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/boro_467225.html#6. Acesso em: 23 out. 2023.

OLIVEIRA, Lyvia Nunes Arantes de. **Qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas sob doses de boro em diferentes estádios fenológicos**. 2023. 1 v. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-Go, 2023.

PRADO, R. de M. **Nutrição de Plantas**. Jaboticabal: Unesp, 2008. 407 p.

SILVESTRIN, F. **Fontes de boro para uso agrícola**. 2020. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/informe-publicitario/267516-fontes-de-boro-para-uso-agricola.html>. Acesso em: 23 out. 2023.

VELOSO, C. **Conheça 5 das principais fontes de boro para agricultura**. 2020. Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/nutricao-de-plantas/5-fontes-deboro-agricultura/>. Acesso em: 23 out. 2023.

SANTOS, M. et al. Adubação foliar com boro em sistema de plantio direto na cultura da soja. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 1, p. 1-11, 2019.

SILVA, Jefferson Ferreira da. **Lixiviação de boro em latossolo em função de fontes e doses.** 2019. 32 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Unidade Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO.

ZAVASCHI, E.. **Manejo do boro na cultura da soja.** 2020. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-manejo-do-boro-na-cultura-da-soja/>. Acesso em: 23 out. 2023.