



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FRANCISCO CEZAR DIAS

APLICAÇÃO DE FONTES BORATADAS NO SOLO NA CULTURA DA SOJA
E DO MILHO NO CERRADO BRASILEIRO EM DIFERENTES CLASSES
TEXTURAIIS DE SOLO

SINOP – MT
2024

FRANCISCO CEZAR DIAS

APLICAÇÃO DE FONTES BORATADAS NO SOLO NA CULTURA DA SOJA E
DO MILHO NO CERRADO BRASILEIRO EM DIFERENTES CLASSES
TEXTURAS DE SOLO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT como requisito final para obtenção do título de Mestre em Nutrição de Plantas.

Orientador: Professor Doutor Thiago Martins Machado

SINOP - MT

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

D541a Dias, Francisco Cezar.

Aplicação de fontes boratadas no solo na cultura da soja e do milho no cerrado brasileiro em diferentes classes texturais de solo [recurso eletrônico] / Francisco Cezar Dias. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 47 f., il., pdf). -- 2024.

Orientador: Doutor Thiago Martins Machado.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Sinop, 2024.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. boro. 2. micronutriente. 3. nutrição vegetal. I. Machado, Doutor Thiago Martins, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "Aplicação de fontes boratadas no solo na cultura da soja e do milho no Cerrado brasileiro em diferentes classes texturais de solo"

AUTOR: Mestrando Francisco Cezar Dias

Dissertação defendida e aprovada em 27 de Setembro de 2024.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

Presidente Banca Doutor(a) Thiago Martins Machado
Instituição : Universidade Federal de Mato Grosso

Orientador(a) Doutor(a) Thiago Martins Machado
Instituição : Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador(a) Externo(a) Doutor(a) Humbelina Silva Siqueira Lopes
Instituição : Unilasalle Lucas

Examinador(a) Interno(a) Doutor(a) Márcio Roggia Zanuzo
Instituição : Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador(a) Suplente Doutor(a) Indiamara Marasca
Instituição : Unilasalle Lucas

SINOP, 27/09/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Humbelina Silva Siqueira Lopes**, Usuário Externo, em 17/02/2025, às 10:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARCIO ROGGIA ZANUZO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 26/02/2025, às 18:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **THIAGO MARTINS MACHADO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 07/03/2025, às 12:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7627012** e o código CRC **601CE13B**.

FRANCISCO CEZAR DIAS

Engenheiro Agrônomo

APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES BORATADAS NO SOLO NA CULTURA
DA SOJA E DO MILHO NO CERRADO BRASILEIRO EM FUNÇÃO DE CLASSES
TEXTURAS

Orientador: Professor Doutor Thiago Martins Machado

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Mato Grosso - UFMT, para
obtenção do título de Mestre em
Agronomia, Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovado em 27 de agosto de 2024.

Presidente da Banca/Orientador: Doutor(a) Thiago Martins Machado

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Interno: Doutor(a) Márcio Roggia Zanuzo

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinadora Externa: Doutor(a) Humbelina Silva Siqueira Lopes

Instituição: UNILASALLE Lucas

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Francisco Cezar Dias, Engenheiro Agrônomo, portador do CREA 98002 D SP, natural de Araçatuba, SP, a rua Gandhi, 345, Bairro Higienópolis. Formado em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, SP onde obteve o Título de Engenheiro Agrônomo, com o curso iniciando em 01 de julho de 1977 e finalizando em 30 de julho de 1981. Na ocasião defendeu seu TCC intitulado “SELEÇÃO DE MÉTODOS PARA FÓSFORO EM SOLOS DA REGIÃO DE JABOTICABAL, SP” orientado pelo Professor Doutor Manoel Evaristo Ferreira. Esta pesquisa permitiu a escrita de um artigo científico de mesmo nome, publicada na Revista Científica (Porto Alegre) São Paulo, v. 13, n. 1,2, p. 29-38, 1985.

Entre o período de 02 de fevereiro de 1992 e 30 de dezembro de 1994 formou-se em Tecnólogo em Processamento de Dados, pela Associação de Ensino Superior – AESA, Faculdade de Tecnologia em Processamento de Dados, campus de Araçatuba, SP, onde recebeu o Título de Tecnólogo em Processamento de Dados. Na ocasião defendeu seu TCC baseado no Software denominado Gestão de Insumos, Interpretação de Análise de solo e Recomendações. Este curso se iniciou em 02 de fevereiro de 1992 e terminou em 30 de dezembro de 1994.

Formado, trabalhou em Assessoria e Consultoria no Cerrado brasileiro por 44 anos com a produção de grãos, fibras e pastagens, onde ministrou cursos, palestras e treinamentos para outros colegas de mesma formação, Técnicos agrícolas e produtores rurais. Elaboração de Projetos Técnicos para obtenção de recursos financeiros para a propriedade rural, elaboração de Laudos Técnicos para o PROAGRO – Seguro rural. Possui cursos de Pós-Graduação Latu Senso em Irrigação pela EMBRAPA, Correção de Solo e Nutrição de Plantas pela FEALQ da ESALQ – USP.

Possui Curriculum Lattes CV: <http://lattes.cnpq.br/1236068283668812>

Aos meus avós maternos Francisco, Augusta e paternos Manoel e Maria da Graça
Aos meus pais Benedito Décimo Dias Alva e Maria Stella Mello Dias por moldar meu
caráter e minha persistência diante da vida.

in memoriam

DEDICATÓRIA

Aos meus irmãos Maria, Jorge, Tereza e Claudia pela convivência, embora distante, mas sempre juntos e ao apoio constante.

À minha esposa, Jane Lemos Ravagnani pela realização e o sentido da vida com o presente mais lindo que um pai pode desejar e a este presente, fruto de um amor intenso e constante, minha filha Ana Júlia Ravagnani Dias com seu carinho e atenção sempre e que faz com que nos sintamos juntos todos os dias, embora distantes. **ETERNA GRATIDÃO.**

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Manoel Evaristo Ferreira pela orientação segura e constante durante a graduação e que sedimentou conhecimentos tornando-me um Engenheiro Agrônomo.

Ao Professor Doutor Thiago Martins Machado pela orientação segura, ética e esclarecedora.

Ao Professor Doutor Claudio Vieira de Araújo que me conduziu com mãos firmes e conhecimento na instalação e condução do experimento.

À Doutora Humbelina Silva Siqueira Lopes que foi imprescindível na minha metamorfose de profissional de campo para o pesquisador científico.

Aos Professores Doutores do PPGA Peter, Cassiano, Solange, Janaina, Rafael, Claudinho, Thiago, Onã e Lange pelos novos conhecimentos transmitidos.

Ao Coordenador do PPGA Professor Doutor Márcio e às colaboradoras Maelbe e Lilian pelo apoio constante e disponibilidade em ajudar.

Aos colegas Ana, Ane, Camila e Douglas pelo convívio agradável e participativo durante as aulas.

À COOALVE na pessoa de seu Presidente Senhor Antônio Carlos Costa Lima e que cedeu o laboratório de análise de grãos para pesar a produção de milho colhida nas parcelas do experimento.

Ao Alexandre Edson Knapp Hoffmann analista do laboratório que compreendeu a importância da pesquisa e conduziu a pesagem do material com zelo de irmão, advertindo sempre que necessário sobre o manuseio da balança.

À Fertilizantes Nutriverde de Lucas do Rio Verde, MT pela acolhida e por ceder o ácido bórico e a ulexita utilizados na pesquisa.

À Agroplanta de Batatais, SP em nome do Rodrigo Maluf por fornecer o oxissulfato utilizado na pesquisa.

Ao Comércio de Lucas do Rio Verde, MT pelo apoio financeiro ao Projeto.

Ao Laboratório de Análise de solo, plantas e corretivos SOLO CERTO pelo apoio e perfeição com que executou todas as análises do projeto de pesquisa.

MUITO OBRIGADO A TODOS!!

RESUMO

A produção do Cerrado na cultura de milho e soja depende de níveis adequados de boro no solo para garantir elevadas produtividades. O Cerrado, por possuir solos ácidos e intemperizados, com baixa fertilidade do solo, predominância de caulinita, quartzo, óxidos de ferro e alumínio, possui baixa capacidade de retenção deste elemento químico. Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a concentração de diferentes fontes boratadas na cultura da soja e do milho no Cerrado brasileiro em diferentes classes texturais de solo. Foram avaliadas três fontes de boro em duas propriedades (P1) e (P2) contendo em cada propriedade uma área experimental de 50 m x 100 m, divididas em parcelas de 12,5 m x 20,0 m, localizadas no município de Sinop, MT. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 tratamentos e 5 repetições observados nas culturas de soja e de milho, em diferentes solos de textura Franco arenosa (P1) e argilosa (P2). A condução no campo foi cultivada soja na safra 2021/2022 em seguida milho no período safrinha 2023. Avaliou-se os teores de boro na folha e raiz de soja e milho, no solo (0-20 e 20-40 cm) após colheita da soja e milho e na produção de milho (espiga, semente e sabugo). Não houve diferença significativa entre as diferentes fontes avaliadas. Observou-se uma similaridade dos efeitos dos tratamentos com ácido bórico, oxissulfato e ulexita na soja e no milho. Para o ciclo safra/safrinha nos solos do cerrado, o ácido bórico, oxissulfato e ulexita atenderam as demandas da soja e do milho.

Palavras-chave: boro; micronutriente; nutrição vegetal.

ABSTRACT

Cerrado production of corn and soybeans depends on adequate levels of boron in the soil to guarantee high productivity. The Cerrado, as it has acidic and weathered soils, with low soil fertility, predominance of kaolinite, quartz, iron and aluminum oxides, has a low capacity to retain this chemical element. Given the above, the objective of this research was to evaluate the concentration of different borate sources in soybean and corn crops in the Brazilian Cerrado in different soil textural classes. Three boron sources were evaluated on two properties (P1) and (P2) containing an experimental area of 50 m x 100 m on each property, divided into plots of 12.5 m x 20.0 m, located in the municipality of Sinop, MT. The design used was in randomized blocks with 4 treatments and 5 replications observed in soybean and corn crops, in different soils with sandy loam (P1) and clayey (P2) textures. In the field, soybeans were cultivated in the 2021/2022 harvest, followed by corn in the 2023 harvest period. Boron levels were evaluated in the leaves and roots of soybeans and corn, in the soil (0-20 and 20-40 cm) after harvesting soybeans and corn and in corn production (cob, seed and cob). There was no significant difference between the different sources evaluated. A similarity was observed in the effects of treatments with boric acid, oxysulfate and ulexite on soybeans and corn. For the harvest/safrinha cycle in the cerrado soils, boric acid, oxysulfate and ulexite met the demands of soybeans and corn.

Keywords: boron; micronutrients; plant nutrition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –Ponto georreferenciados nas áreas de estudo nos pontos P1 (Fazenda Taciana) e P2 (Fazenda Margarida) em Sinop, MT.....	21
Figura 2 – Áreas experimentais instaladas na P1 e na P2 com suas parcelas e distribuição aleatória dos tratamentos.....	22
Figura 3 – Dados pluviométricos durante a condução do experimento na cultura da soja em 2022	23
Figura 4 – Dados pluviométricos durante a condução do experimento na cultura da soja e milho em 2023	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Características química e física das áreas de instalação dos campos experimentais.	17
Tabela 2 - Estimativas de médias e desvio-padrão (DP) para teores do conteúdo de boro (mg/Kg) nas folhas e raízes de soja, de plantas cultivadas em solos com textura Franco arenosa na P1, nos tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg/ha B), oxisulfato (22,6 kg/ha B) e ulexita (28,5 kg/ha B), na escala original e logarítmica.	25
Tabela 3 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores do conteúdo de boro (mg/Kg) nas folhas e raízes de soja, de plantas cultivadas em solos com textura argilosa na P2, nos tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg/ha B), oxisulfato (22,6 kg/ha B) e ulexita (28,5 kg/ha B), na escala original e na escala logarítmica.	26
Tabela 4 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores de boro no solo, nas texturas Franco arenosa (P1) e argilosa (P2) (mg kg^{-1}), na profundidade 0 -20 cm e 20 - 40 cm, avaliados após a colheita de soja nos tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico ($13,29 \text{ kg ha}^{-1}$), oxisulfato ($22,6 \text{ kg ha}^{-1}$) e ulexita ($28,5 \text{ kg ha}^{-1}$).	27
Tabela 5- Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores do conteúdo de boro (mg/Kg) nas folhas e raízes de milho, de plantas cultivadas em solos com textura arenosa (P1), nos tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico ($13,29 \text{ kg ha}^{-1}$ B), oxisulfato ($22,6 \text{ kg ha}^{-1}$ B) e ulexita ($28,5 \text{ kg ha}^{-1}$ B), na escala original e na escala logarítmica.	28
Tabela 6 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores do conteúdo de boro (mg/Kg) nas folhas e raízes de milho, de plantas cultivadas em solos com textura argilosa (P2), nos tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico ($13,29 \text{ kg ha}^{-1}$ B), oxisulfato ($22,6 \text{ kg ha}^{-1}$ B) e ulexita ($28,5 \text{ kg ha}^{-1}$ B), na escala original e na escala logarítmica.	28
Tabela 7 – Estimativas de médias, desvio-padrão (DP), probabilidade associada ao modelo (P-values) e erro padrão da média (EPM) para o peso de milho, em grama da espiga, semente e sabugo com plantas cultivadas em solos arenosos (P1), após os tratamentos com testemunha (0 B), ácido bórico ($13,29 \text{ kg ha}^{-1}$ B), oxisulfato ($22,6 \text{ kg ha}^{-1}$ B) e ulexita ($28,5 \text{ kg ha}^{-1}$ B), na escala original e na escala logarítmica.	29
Tabela 8 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP), probabilidade associada ao modelo (P-values) e erro padrão da média (EPM) para o peso de milho, em grama da espiga, semente e sabugo com plantas cultivadas em solos argiloso (P2), após	

os tratamentos com testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg ha⁻¹ B), oxisulfato (22,6 kg ha⁻¹ B) e ulexita (28,5 kg ha⁻¹ B), na escala original e na escala logarítmica. 30

Tabela 9 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores do conteúdo de boro no solo, nas texturas arenosa (P1) e argilosa (P2), na profundidade 0-20 m e 20 a 40 cm de profundidade, avaliados após a colheita do milho para os tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg ha⁻¹), oxisulfato (22,6 kg ha⁻¹) e ulexita (28,5 kg ha⁻¹). 31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 A cultura da Soja no MT.....	18
2.2 A cultura do Milho no MT.....	21
2.3 Boro na planta	21
2.4 Fontes de boro na agricultura e suas características	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3. 1. Área destinada a pesquisa - localização	24
3. 2. Amostragem do solo.....	25
3. 3. Caracterização química e física do solo.....	26
3. 4. Implantação e Condução do Experimento	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4. 1. Avaliação dos resultados químicos e físicos das áreas da P1 e P2	29
4. 2. Teores médios de B nas folhas e raízes de soja na área da P1 e P2	31
4. 3. Teores médios de B nos solos das áreas P1 e P2 nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm logo após a colheita de soja.....	33
4. 5. Teores médios de B nas folhas e raízes de milho na área da P1 e P2.....	34
4. 6. Teores médios de B nas espigas, semente e sabugo da área da P1 e P2	35
4. 7. Teores médios de B nos solos das áreas P1 e P2 nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm logo após a colheita de milho	38
4. CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

O boro (B) é um micronutriente que em condições naturais, se apresenta como ácido bórico (H_3BO_3), sendo esta, a forma comum de serem absorvidas pelas raízes das plantas e utilizada na nutrição de plantas. Estudos vem mostrando que, sua deficiência em diversas culturas tem mostrado efeitos negativos na fisiologia da planta, limitando o desempenho e reduzindo a produtividade da cultura.

Segundo Silva *et al.* (2014), a deficiência de B na planta prejudica seu desenvolvimento e reduz o potencial produtivo, além de gerar distúrbios nos processos fisiológicos dependentes deste elemento (Brunes *et al.*, 2015). Para Nable *et al.* (1997), a disponibilidade do nutriente B às plantas está associada às propriedades físicas e químicas do solo, como: pH, textura, mineralogia e matéria orgânica.

Evidências sugerem que o micronutriente boro esteja relacionado com o crescimento meristemático, formação de raízes, síntese da parede celular, funcionamento de membranas, respostas hormonais, e regulação do ciclo celular (ARAÚJO; SILVA, 2012). Outros relatam que atua indiretamente na ativação de enzimas e translocação de ácidos nucleicos, carboidrato e fitormônios (SONGKHUM *et al.*, 2018; NOGUEIRA *et al.*, 2019). Além disso, é um nutriente fundamental para a germinação do grão de pólen e desenvolvimento do tubo polínico (JAVORSKI *et al.*, 2014).

A cultura do milho no Brasil, tem apresentado aumentos de produtividade a cada ano, devido principalmente, às tecnologias implementadas no sistema de cultivo, como a rotação de culturas, plantio direto, manejo da fertilidade do solo, bem como adubação adequada com macro e micronutrientes (TEIXEIRA *et al.*, 2015). Segundo Souza *et al.* (2011), solos tropicais normalmente apresentam pH baixo, e devido à elevada acidez, assim sendo comum a deficiência de B nesses solos.

Um dos principais problemas enfrentados na cultura do milho, especialmente em regiões de Cerrado, é a deficiência de micronutrientes (SILVA, 2019). Para a mesma autora, enfatiza que entre os micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, o B destaca-se por participar de uma série de processos fisiológicos.

A soja é uma das culturas anuais mais exigentes em B, sendo comum a deficiência nessa cultura (FURLANI et al., 2001), bem como, também é bastante sensível a sua toxidez (ROSOLEM, 1980).

A deficiência de B em soja desorganiza os vasos condutores, o que resulta no encurtamento de internódios, plantas anãs, caule bastante grosso, e as folhas novas ficam encarquilhadas, ocorrendo a morte da gema apical. Quando a deficiência é durante a germinação das sementes, as plântulas formam gemas laterais que não se desenvolvem, além de só apresentarem folhas cotiledonares. Além disso, ocorrem problemas durante o processo de floração, já que, há diminuição da germinação do grão de pólen e do crescimento do tubo polínico (SFREDO; BORKET, 2004; MASCARENHAS et al., 2013).

As rochas contêm quantidades variáveis de boro, de acordo com a ocorrência de minerais presentes em sua estrutura (BELTRÃO et al., 2010). Dos minerais referidos por Marconi et al. (1980), destacam-se alguns borossilicatos e boratos. Segundo Raij (1991), o bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), a kernita ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), a colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), a ulexita ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) e a turmalina [$\text{H}_2\text{MgNa}_9\text{Al}_3(\text{BO})_2\text{SiO}_4\text{O}_2\text{O}$] são alguns minerais importantes que contêm boro.

Na solução do solo, a fração de B é considerada pequena (1 a 3%), sendo a forma predominante em solos ácidos ou neutros, o ácido bórico e em solos alcalinos, o tetrahidroxiborato (WIMMER; EICHERT, 2013). Aproximadamente, $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de B na solução do solo é adequado para o crescimento da maioria das plantas. Contudo, esse cenário pode ser alterado, uma vez que, o B tende a ficar adsorvido aos colóides do solo devido ao teor de materiais adsorventes, diminuição da umidade do solo e aumento da temperatura e do pH. Os óxidos de ferro e alumínio, minerais de argila, hidróxido de magnésio, carbonato de cálcio e a própria matéria orgânica do solo tendem a complexar o ácido bórico (CAMARGO, 2006). Além disso, a textura e tipo de solo, precipitação, quantidade de matéria orgânica, material de origem, a fonte de B e a quantidade utilizada na adubação são fatores que corroboram para a lixiviação do micronutriente (CORREIA et al., 2016).

As fontes de micronutrientes podem ser subdivididas em vários grupos, de acordo com a sua solubilidade em água, sendo alguns solúveis em água, como: quelatos,

nitratos, sulfatos e cloretos, e há os insolúveis em água, mas disponíveis às plantas quando aplicados no solo, tais como os carbonatos, fosfatos, óxidos, fritas, dentre outras (VITTI, QUEIROZ; QUINTINO, 2005; GODOY et al., 2013).

Cada uma dessas fontes atua de formas diferentes no solo e necessitam de mais estudos para se conseguir maior aproveitamento e redução do custo final na construção da fertilidade em micronutrientes no solo (LACERDA et al., 2017).

Portanto, justifica-se a importância desta pesquisa em avaliar diferentes fontes de fertilizantes a base de boro na cultura da soja e milho que atenda melhor às necessidades e o desempenho das mesmas em solos do Cerrado brasileiro. Dentre as diferentes fontes de boro existentes, o ácido bórico, oxisulfato e a ulexita poderiam atender a demanda exigida pela cultura da soja e milho em períodos de safra e safrinha com uma aplicação única?

Para responder este questionamento o objetivo desta pesquisa foi avaliar a concentração de diferentes fontes boratadas na cultura da soja e do milho no Cerrado brasileiro em diferentes classes texturais de solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da Soja no MT

A Soja, nomenclatura botânica oficial *Glycine max* (L.) Merrill, da família Fabaceae, é uma leguminosa que tem como origem no nordeste da China (entre 45 e 50° N), latitude que, nas Américas, corresponde no Sul à Patagônia e, no Hemisfério Norte, ao Norte dos Estados Unidos da América e sul do Canadá (GAZZONI, 2018). Consumida por mais de 5.000 anos no Oriente, ainda hoje é considerada como uma das culturas sagradas. Nas Américas, a oleaginosa ganhou status de cultura comercial no início do século XX, inicialmente plantada no sudeste dos Estados Unidos. Em menos de um século, as pesquisas por variações adaptadas aos diferentes climas e solos das Américas permitiram a soja expandir-se por todo o continente (DALL'AGNOL et al., 2007; WESZ JUNIOR et al., 2021).

O cultivo de soja no estado de Mato Grosso foi introduzido no final da década de 1950 nas áreas de campo e cerrado, até então ocupadas pela pecuária. Em meados da década de 1970, a área de soja começou a expansão rapidamente, em grande parte devido aos investimentos feitos na agricultura do então sul de Mato Grosso por grandes grupos empresariais (BONATO; BONATO, 1987). Em 1970, menos de 2% da produção nacional foi colhida nessa região e se concentrou no Estado que hoje é o Mato Grosso do Sul (DALL'AGNOL et al., 2007).

A cultura da soja (*Glycine max*) tem grande importância no contexto agrícola de produção no cenário brasileiro e mundial, devido a sua relevância econômica onde está inserida. Sua entrada no Brasil se deu por meados de 1822 no estado do Rio Grande do sul, mas somente em 1970 a soja foi disseminada para os outros estados do Brasil, processo esse, que só foi possível graças à adaptação ou tropicalização da cultura ao clima brasileiro (EMBRAPA, 2007), ou seja, devido ao trabalho de melhoramentos desenvolvidos por instituições de pesquisa que possibilitou esse cultivo em basicamente todas as regiões do País.

A produção mundial de soja prevista em 2021 foi de 367 milhões de toneladas (Mt), colhida em uma área plantada de 126,2 milhões de hectares (Mha^{-1}). O Brasil foi responsável por aproximadamente 34%; seguido dos Estados Unidos com 31%; Argentina 15%; China 5% e; Índia com 3%. O Brasil foi capaz de produzir 124.566,3 Mt em uma área de $37.31 M ha^{-1}$, com uma produção de $3.338 kg ha^{-1}$, em 2020/2021, neste ano, menos de 30 países produziram a oleaginosa (OECD, 2019).

O processo de expansão da fronteira agrícola da soja, que teve origem no sul do Brasil, se estendeu no bioma Cerrado, tornando o Estado de Mato Grosso (em zonas de transição que estão centradas em mesorregiões do norte e nordeste), o maior produtor brasileiro de soja (IMEA, 2021).

Em Mato Grosso, o solo é predominantemente pobre de nutrientes minerais (QUEIROZ, 2004). Para o autor supracitado, a vegetação típica do cerrado é adaptada a situações adversas como seca e fogo, apresentam alto grau de acidez e quantidades tóxicas de alumínio. Outras características, como “altitude, a periodicidade das queimadas e declividade influenciam na formação fisionômica do bioma, que apresentam variações” (QUEIROZ, 2004, p. 2). Essa visão conduziu

enganosamente à ideia de que era um bioma biologicamente pobre e não propício ao desenvolvimento dessa atividade. A ausência de estudos de impactos ambientais na região bem como de medidas mitigadoras e/ou preventivas levaram à interpretação errônea de que o solo do cerrado é um bioma de menor importância, biologicamente pobre e, portanto, destinado apenas a ocupação das culturas de grãos (PIAIA, 1999; QUEIROZ, 2004; SANTOS et al., 2010).

Mato Grosso é um destaque na produção de soja no Brasil e seus municípios são expoentes nesse setor, sendo que dos vinte municípios líderes em soja no Brasil, treze são matogrossenses (BRASIL, 2017, PORCIONATO et al., 2018). A produção tem contribuído para a qualidade de vida de municípios produtores, o que pode ser verificado em indicadores como o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM), em Lucas do Rio Verde (MT) e Luís Eduardo Magalhães (BA). Municípios com base econômica voltada à produção da soja, são os que alcançaram o maior IFDM em seus estados. Em Mato Grosso, nove, dos dez municípios com maior IFDM, são produtores de soja e alguns destes, possuem indústrias de processamento (PELICANO; CAPDEVILLE, 2021).

Da década de 1990 em diante, percebeu-se que o estado de Mato Grosso ampliou a área incorporada à produção da soja, com uso de recursos tecnológicos, o que lhe proporcionou crescimento no rendimento médio e permitiu superar o Rio Grande do Sul e o Paraná em volume de produção e, nos primeiros anos da década de 2000, também em área produtiva, pois esse conjunto favoreceu elevados rendimentos, com produtividades médias variando entre 2.600 e 3.300 kg/ha⁻¹ (BASSO et al., 2021).

A produção apresentou crescimento significativo, uma vez que a área plantada em Mato Grosso saltou de 5.609.703 ha em 2007/08 para 9.579.538 ha em 2018/19, indicando um aumento de 70,8% nesse período. É importante notar que de 1977/78, quando o Estado plantou 5.566 ha⁻¹ (BONATO; BONATO, 1987), a 2018/19 quando plantou 9.579.538 ha⁻¹ (IMEA, 2019), houve um aumento de 172.108 %.

2.2 A cultura do Milho no MT

A produção de milho é umas das atividades agrícolas mais realizada no Brasil. Os sistemas de produção são os mais diversificados, com uso de altos níveis tecnológicos em atividades visando o mercado até sem uso de qualquer tecnologia moderna nas produções de subsistência (DUARTE; CRUZ; GARCIA, 2007). Porém, o avanço da profissionalização da produção do milho tem acompanhado o crescimento da cadeia produtiva com o objetivo de produção de proteína animal e a conjugação com soja no uso de áreas aptas à produção de grãos, quer seja em rotação com esta cultura ou em sucessão na safra de inverno. Alguns estados têm se destacado na produção de culturas de inverno e, no caso do milho, o estado de Mato Grosso tem alcançado altos níveis de produção desta cultura na safra de inverno, conhecida como safrinha (DUARTE; CRUZ; GARCIA, 2007).

O cultivo de milho safrinha em Mato Grosso é caracterizado pela semeadura entre os meses de janeiro e fevereiro, após a colheita da safra normal, com predomínio após o cultivo da soja, preferencialmente, de uma cultivar com menor grupo de maturação – ciclo precoce, visando o aproveitamento das chuvas antes do início da seca (KAPPES, 2013).

2.3 Boro na planta

O B é um elemento de suma importância no crescimento e desenvolvimento das plantas, participando de vários processos, como transporte de açúcares, lignificação, estruturação da parede celular, metabolismo de carboidratos, metabolismo de RNA, respiração, metabolismo de AIA, metabolismo fenólico, metabolismo de ascorbato, além de ter função na síntese da parede celular e integridade da membrana plasmática (CAKMAK; RÖMHELD, 1997). No que diz respeito a reprodução de plantas e qualidade fisiológica de sementes, o Boro está diretamente relacionado na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico, fazendo com que ocorra um aumento no pegamento de flores e na granação menor esterilidade masculina e menor chochamento de grãos (MALAVOLTA et al., 2002). A presença

do B além de auxiliar na melhor fecundação das flores e formação de grãos, também interfere na retenção das vagens recém-formadas (canivetes), bem como tem capacidade de atuar no crescimento do meristema, diferenciação celular, maturação, divisão celular e crescimento das plantas (PRADO 2008). Como ocorre com a maioria dos micronutrientes, o B tem baixa mobilidade dentro do floema, logo, é de difícil redistribuição das folhas mais velhas para pontos de maior exigência como os tecidos meristemáticos. Desta forma, se faz necessário uma boa e constante disponibilidade ou suprimento deste nutriente durante a fase vegetativa das plantas (TANAKA, 1992). Para alguns autores como KAPPES et al., 2008 e RAIMUNDI et al., 2013, são nos estádios V6 a R5, o momento em que a cultura da soja é mais exigente de B, devido a formação de legumes e enchimento de grãos, sendo assim, os melhores resultados produtivos são encontrados quando a aplicação de Boro via foliar é feita nessa faixa do ciclo da cultura.

Entre os micronutrientes, o boro e o zinco, de acordo com Malavolta et al. (1987), são considerados extremamente importantes para a cultura de milho. Yamada & Lopes (1998) citam que a imobilidade do boro em plantas de milho é comprovada pela ocorrência de teores mais altos de boro em folhas velhas, quando comparadas a folhas mais jovens, principalmente em situações de deficiência do elemento na planta. Assim, os referidos autores sugerem que a aplicação de boro para a cultura de milho deve ser efetuada no solo para que seja plenamente aproveitado pela planta, uma vez que, se aplicado via foliar, não será retranslocado do local de aplicação e não suprirá as exigências dos tecidos a serem formados (tecidos jovens).

Quanto à necessidade de boro pela cultura de milho, Malavolta et al. (1991) citam que, a cada tonelada de grãos produzida são exportados 13 gramas de boro. De acordo com Yamada & Lopes (1998), geralmente, as doses de boro recomendadas para a cultura de milho variam de 0,5 a 1,0 kg.ha⁻¹.

2.4 Fontes de boro na agricultura e suas características

Ácido bórico-(H₃BO₃): apresenta solubilidade de 60 g L⁻¹ à temperatura de 20°C, apresentando concentração de 17-18% de B. Esta fonte é totalmente

disponível para as plantas, podendo sofrer elevada lixiviação em função da textura do solo, precipitação e teor de matéria orgânica, geralmente é utilizado em aplicações via solo, no momento da dessecação pré-plantio ou aplicado na projeção da copa de culturas perenes como o café, também pode ser utilizado via folha (TOMICIOLI; LEAL; COELHO, 2021).

Colemanita – $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: fonte de borato de cálcio de baixa solubilidade e liberação lenta para as plantas, a concentração de B varia de 10-16% de acordo com o grau de hidratação. Esta fonte em virtude de sua liberação mais lenta para as plantas pode ser uma alternativa para aplicação em solos arenosos e de textura média visando reduzir as taxas de lixiviação. Como sua solubilidade é pequena necessita aplicar a lanço ou ser utilizado em mistura com fertilizantes para o plantio (TOMICIOLI; LEAL; COELHO, 2021).

Ulexita– $\text{NaCaB}_5\text{O}_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: fonte borato de cálcio e sódio, apresenta baixa solubilidade em água e disponibiliza o B de forma lenta para o solo, variando conforme sua granulometria (BYERS et al. 2001). Apresenta concentração de 10-15% de B e cálcio de 12-14%, é utilizado em aplicação a lanço para culturas anuais, em área total, ou misturado em adubos formulados, para culturas perenes pode ser fornecido na projeção da copa. É uma outra opção em casos solos arenosos ou textura média com elevadas precipitações e baixo teor de matéria orgânica, em virtude de sua liberação mais lenta, visando reduzir perdas por lixiviação (TOMICIOLI; LEAL; COELHO, 2021).

Bórax– $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$: fonte borato de sódio, apresenta elevada solubilidade, o teor de B varia de 10-15% e pode ser utilizado no momento da dessecação para culturas anuais ou fornecido para culturas perenes na projeção da copa, ou no momento da aplicação de fungicidas via solo, pode ser utilizado via folha (TOMICIOLI; LEAL; COELHO, 2021).

Octaborato de Sódio– $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: fonte de alta solubilidade, 10g 100 ml⁻¹ de água a 20°C, o teor de boro varia entre 20-21%, pode utilizado no momento da dessecação para culturas anuais ou fornecido para culturas perenes na projeção da copa, ou no momento da aplicação de fungicidas via solo, pode ser utilizado via folha (TOMICIOLI; LEAL; COELHO, 2021).

Termofosfato com Boro: geralmente é adicionado colemanita, aumentando sua solubilidade com o tratamento térmico dos fosfatos. Essa fonte apresenta 17% de P₂O₅ total, 20% de Ca, 7% de Mg, 0,4% de B, 23% de SiO₂ (BOLOGNA, 2003). A aplicação é realizada em área total visando a adubação de correção do fósforo e juntamente a adubação com boro, antes de iniciar a semeadura ou plantio, momento de preparo do solo e correções (TOMICIOLI; LEAL; COELHO, 2021).

2.5 Deficiência de boro nas culturas da Soja e Milho

A deficiência de B para as culturas ocorre nas folhas novas, pelo simples fato desse nutriente ser imóvel no floema. Na cultura da soja, os sintomas típicos são folhas novas com “encarquilhamento” e pontos necróticos, além de queda de botões florais e menor número de grãos nas vagens (RERKASEM et al., 1993). Esses sintomas podem ser observados em Hansel e Oliveira (2016) e Laborsolo (2015).

Na cultura da soja, a deficiência desse nutriente pode prejudicar a produtividade de grãos, uma vez que Santini et al. (2015) constataram aumento de produtividade de mais de 15% com a aplicação desse nutriente.

Na cultura do milho, as plantas apresentam sintomas em folhas novas, com manchas brancas ou amareladas, formando vincos (elevações nos tecidos jovens), fazendo com que, nos casos de deficiência aguda, as folhas novas fiquem retorcidas e quebradiças (MOZAFAR, 2008). Além disso, verifica-se má formação de grãos nas espigas em decorrência da deficiência de B (FANCELLI, 2010; LABORSOLO, 2015). De acordo com Nogueira (2016), ocorreu um aumento médio de 8,52% na produtividade do milho utilizando 1,0 kg ha⁻¹ de B no sulco de semeadura.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área destinada a pesquisa – localização

O experimento foi conduzido em duas propriedades, Fazenda Margarida e Fazenda Tassiana, cuja as coordenadas geográficas são, respectivamente: Latitude: 12°4'9,15" S e Longitude: 55°34'16,24" O na propriedade 1 (P1) e Latitude:

12°1'27,31" S e Longitude: 55°30'14,92" O na propriedade 2 (P2), situados a 8 Km do município de Sinop, MT (Figura 1).

Nas duas propriedades foram cultivados Soja no período da safra 2022/2023, posteriormente o milho na safrinha de 2023.

3. 2. Amostragem do solo

As amostras de solo foram realizadas dia 20/julho de 2022 em cada área experimental, nos pontos P1 (Fazenda Margarida) e P2 (Fazenda Tassiana) retiradas com o instrumento enxadão amostras simples, gerando amostras compostas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. As amostras coletadas foram etiquetadas e encaminhadas para o laboratório Solo Certo, no município de Lucas do Rio Verde-MT.

Figura 1. Pontos georreferenciados nas áreas de estudo nos pontos P1 (Fazenda Tassiana) e P2 (Fazenda Margarida), em Sinop, MT



Fonte: Google Earth (2024)

Não foi realizada as correções do solo devido as correções terem sido aplicadas nos anos anteriores e as adubações foram seguidas pelo o padrão estabelecido todos os anos pelo proprietário, aplicado na cultura da Soja a base de fósforo (P) – 600 kg ha-1 na formulação química 0-20-0 e 160 kg ha-1 de Cloreto de potássio (KCl). Para a cultura do milho, plantado posteriormente, aplicou-se 300 kg ha-1 da

formulação química 16-16-16 e 400 kg ha⁻¹ da formulação química 22-04-12 com aplicação a lanço, antes da semeadura.

3. 3. Caracterização química e física do solo

Serão determinados os atributos químicos relacionados à fertilidade do solo conforme a metodologia da EMBRAPA (2017), sendo determinadas as variáveis: [pH H₂O], cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺), acidez trocável (Al³⁺); acidez potencial (H + Al)], fósforo disponível e (MO), via úmida pela oxidação com K₂Cr₂O₇ 0,0667 mol L⁻¹ e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal. Fósforo (P) e potássio (K⁺) foram extraídos com a solução Mehlich-1; magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺) e alumínio (Al³⁺) extraídos com KCl 1 mol L⁻¹.

A partir dos resultados das análises químicas de solo, foram calculados os valores de soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC total (T), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V). As interpretações dos atributos químicos da fertilidade do solo serão feitas utilizando-se os critérios adotados por Souza & Lobato (2004), Villar (2007) e Ribeiro et al. (1999).

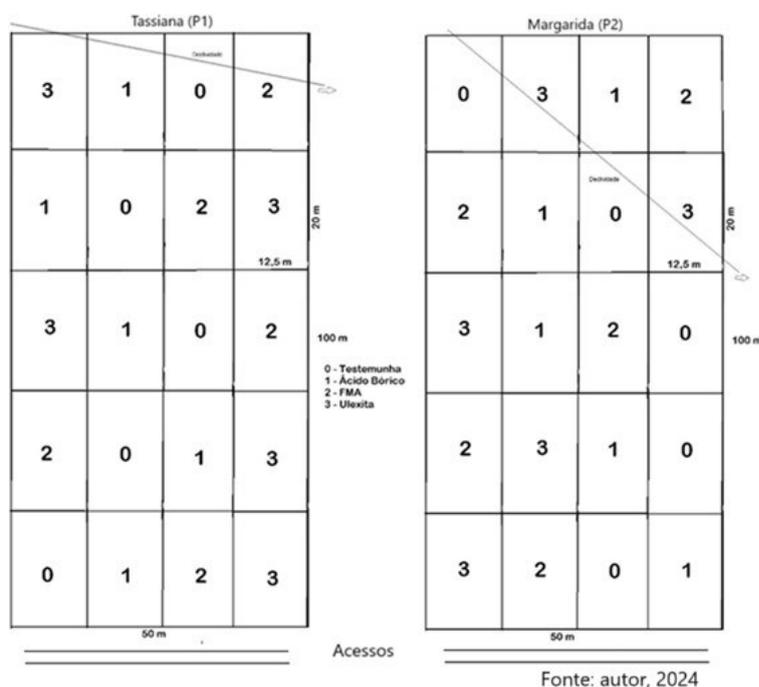
As análises granulométricas foram determinadas pelo método Densímetro, conforme descrito pela EMBRAPA (2017). Entre os atributos físicos, foram determinadas a granulometria (areia, silte e argila) pelo laboratório Solo Certo no município de Lucas do Rio Verde-MT e os resultados classificados pela classe textural do solo.

3. 4. Implantação e Condução do Experimento

A instalação das parcelas (Figura 2) foi efetuada dia 25/julho de 2022 em sistema de semeadura direta na palha em sistema plantio direto. Para Soja empregou-se o espaçamento entrelinhas de 0,45 m e o número de sementes considerou-se a população de plantas desejada de 334.000 plantas ha⁻¹ e a correção pelo percentual de germinação das sementes. Para o milho utilizou-se 3 sementes por metro totalizando 67.000 plantas. Os demais tratos culturais foram

realizados conforme o monitoramento e os manejos comumente realizados na região para a cultura da soja e milho.

Figura 2 – Áreas experimentais instaladas na P1 e na P2 com suas parcelas e distribuição aleatória dos tratamentos



As variedades utilizadas na condução do experimento foram: Soja Bônus (P1) /Olimpo (P2) e a do milho variedade Pionner 3707 vyh (P1e P2).

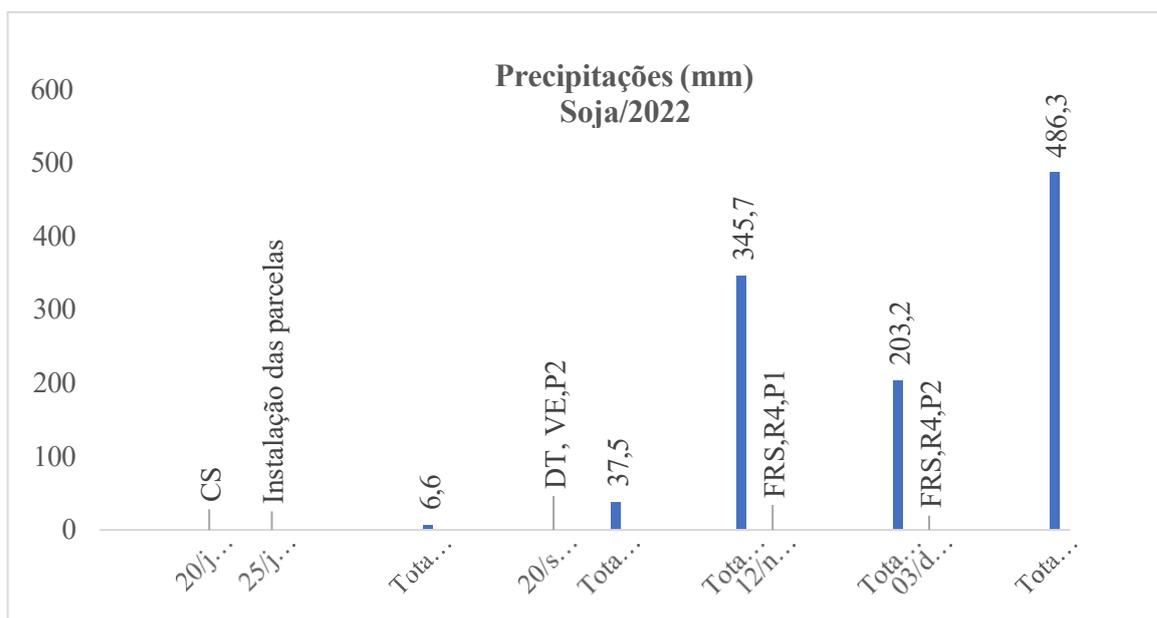
As aplicações dos tratamentos com boro foram com aplicação manual e a lanço em área total de cada parcela, distribuídas nas áreas P1 - em 22/09/2022 e P2 - em 04/10/2022. As fontes e doses utilizadas foram: Testemunha (0-Sem aplicação), Ácido bórico (13,29 Kg ha⁻¹), Oxisulfato (22,6 kg ha⁻¹) e Ulexita (28,25 kg ha⁻¹).

Para análise de planta e raiz de cada cultura (Soja e Milho), foram coletadas aleatoriamente 10 plantas por parcela. Na produção de milho, foram coletadas 30 espigas em 3 linhas com 10 plantas/linha.

A precipitação pluviométrica por decêndio e que registra o início do plantio numa situação de risco elevado para o plantio, bem como, as datas de realização

dos trabalhos com localização das áreas (P1 e P2), amostragem de solo, distribuição dos tratamentos, coleta de material vegetal da soja e seus estádios fenológicos, coleta de solo após soja na safra 2022/2023, encontra-se descrita nas Figura 3.

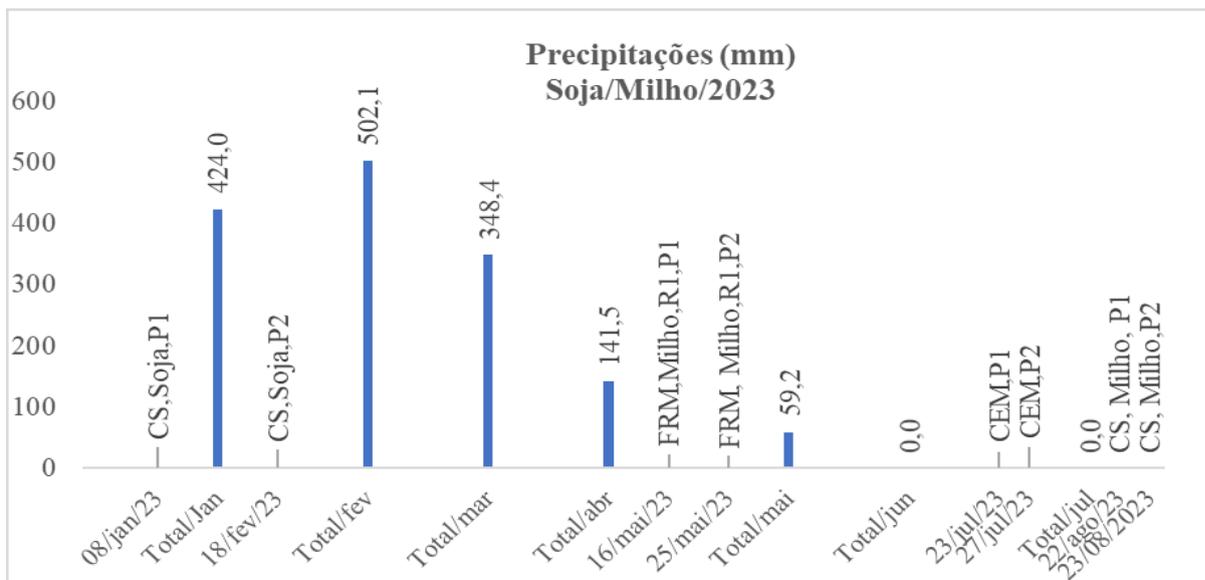
Figura 3. Dados pluviométricos durante a condução do experimento na cultura da Soja em 2022



DT - Distribuição dos tratamentos; FRS - folha e raiz de soja; CS - coleta de solo; VE - vegetativa emergência; R4 - reprodutivo estágio 4. Fonte: modificado da EMBRAPA Agrossilvopastoril, 2024.

A precipitação pluviométrica por decêndio e que registra a coleta de material vegetal do milho e seus estádios fenológicos, coleta de espigas de milho, coleta de solo após milho, para a safra 2022/2023 encontra-se descrita na Figura 4.

Figura 4 - Dados pluviométricos durante a condução do experimento na cultura da Soja e Milho em 2023



DT - Distribuição dos tratamentos; FRS - folha e raiz de soja; CS - coleta de solo; FRM - folha e raiz de milho; R1-reprodutivo estágio 1; CEM-Coleta de espiga de espiga de milho. Fonte: modificado da EMBRAPA Agrossilvopastoril, 2024.

3. 5. Análise estatística

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 tratamentos e 5 repetições observados nas culturas de soja e de milho, em diferentes solos de textura franco arenosa (P1) e argilosa (P2). Todas as análises foram realizadas por meio do programa Statistical Analysis System (SAS, 1996).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4. 1. Avaliação dos resultados químicos e físicos das áreas da P1 e P2

Na Tabela 1 estão apresentados as características químicas e física do solo das propriedades em estudo. A classe textural na propriedade 1 (P1) foi Franco arenosa, com 80% de areia, e na propriedade 2 (P2) apresentou classe textural do solo argilosa, com 54 % de argila.

A textura do solo é um dos principais parâmetros utilizados como indicadores de qualidade física do solo, através da sua determinação é possível inferir sobre outros parâmetros, além de compreender o comportamento e manejo do solo, importantes para a produtividade agrícola (CENTENO et al.; 2017).

De acordo com Villar (2007) no Manual de Interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação, o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ foi classificado como médio nas duas áreas. O teor de Cálcio (Ca) em ambas as áreas foi classificado como médio e o teor de Magnésio (Mg) apresentou classificação média no P1 e alta no P2.

Acidez potencial ($\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$) das duas áreas estiveram dentro da classificação média. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi baixa no P1 e média no P2. Quanto ao teor de fósforo (P), foi classificado alto nas duas áreas e teores médio de potássio (K) em ambas as áreas. Na Tabela 1 se mostrou também que os teores nas duas áreas em estudo atingiram teores médio de boro (B), já para a classificação do teor de MO no P1 apresentou concentração média e no P2 foi alta.

Tabela 1 – Características química e física das áreas de instalação dos campos experimentais

Áreas	pH	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	P	B	MO	Granulometria		
	H ₂ O	CaCl ₂	-----cmolc kg ⁻¹ -----										-mg kg ⁻¹ -	%	Argila
P1	5,6	5,0	3,1	0,8	0,29	0,0	3,00	3,00	7,20	29,9	0,17	2,2	152	50	798
P2	5,5	4,9	3,5	0,9	0,26	0,0	3,80	3,80	8,50	9,0	0,18	2,8	540	100	360

(1)pH H₂O=potencial hidrogeniônico em água; pH CaCl₂=Potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio; P=Fósforo e K= Potássio Extrator usado Mehlich.1; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; Al= Alumínio; H+Al= Acidez potencial; CTC pH7=Capacidade de troca catiônica, Água quente: B⁺³

Fonte: Próprio autor, 2024.

Os resultados para todos os parâmetros avaliados não houve variação significativa estabelecendo a diferença em função da sua média. Sendo assim, podemos afirmar que os tratamentos com ácido bórico, oxysulfatos e ulexita, dentro dos valores encontrados, atenderam ao fornecimento de boro para as culturas soja e milho no sistema safra e safrinha do Cerrado brasileiro. Desta forma, na escolha do uso de produtos contendo boro e avaliados neste estudo, sua escolha é limitada somente em função do menor valor comercial de aquisição.

Silva & Buso (2023) em seu estudo intitulado fontes e doses de boro na cultura da soja, dentro da estatística mostrou-se resultados semelhantes a este, na qual os resultados apresentaram efeitos não significativo entre fontes (ácido bórico, bórax e ulexita) e doses de B em nenhuma das características avaliadas.

No mercado existem diversas fontes de boro para a utilização na agricultura e cada fonte apresenta comportamento distinto, para a forma de aplicação, perdas por

Raíz	2,88	0,32	2,95	0,35	2,78	0,33	2,81	0,53
Folha	3,85	0,62	4,08	0,75	3,9	0,33	3,69	0,63
P-value	0,6017							
EPM	0,0964							

Fonte: Próprio autor, 2024

O acúmulo de boro está diretamente relacionado com os teores de boro, massa seca de planta e a disponibilidade de água presente no solo, uma vez que para quantificar o acúmulo usa-se a massa seca e o teor nos tecidos foliar, quanto maior a massa seca maior é o acúmulo de boro (SILVA et al. 2017).

De acordo com Araújo (2018), o acúmulo de matéria seca (MS) em soja convencional com hábito de desenvolvimento determinado aos 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência (DAE) é de (12,5, 66,3, 20,94 e 45,09 g) e em soja transgênica com hábito de crescimento indeterminado é de (14,2, 65,3, 21,94 e 43,69 g).

Já Oliveira et al., (2013), o teor médio de matéria seca (MS) da folha de milho em relação aos estádios de desenvolvimento da folha (%) é R1 23,5, R2 22,0, R3 24,2, R4 27,3, R5 26,5 e R5 27,8.

Santini et al. (2015), trabalhando com ácido bórico e borogran também não foi verificado efeito significativo para a produtividade de matéria seca de parte aérea da soja e número de vagens por planta, tanto para as fontes quanto para as doses de B.

Silva et al. (2020), trabalhando com ácido bórico em 9 tratamentos (6 doses aplicadas ao solo (0, 0,5, 1,0, 1,5, 2 kg B e 0,5 + N-P-K) e 3 doses aplicadas nas folhas (0,3 Kg B V1, 0,3 Kg B R1 e 0,15 kg BV1 + 0,15 Kg B R1) nas safras 2015/2016 e 2016/2017 não encontrou diferença significativa nas formas de aplicação do B para B foliar e B na semente nas duas safras consideradas. Mesmo com os níveis de B originais de 0,34 mg kg⁻¹, não foi observado sintomas de toxicidade nas folhas de soja.

Trabalhando com citros e as fontes de B ulexita-pó, ulexita granulada, colemanita - pó, ácido bórico e termofosfato com boro, Bolonha (2003) observou que todas as fontes promoveram aumento significativo de B nas folhas, com o ácido bórico e a ulexita-pó os que alcançaram níveis mais altos.

4. 4. Teores médios de B nos solos das áreas P1 e P2, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e logo após a colheita de soja

Na Tabela 4 apresenta as estimativas de médias e desvio-padrão dos teores de boro no solo coletado após a colheita da soja nas propriedades P1 e P2, respectivamente e nos perfis de 0-20 e 20 a 40 cm de profundidade.

Observou-se que no solo da P1 o ácido bórico apresentou menor dispersão do conteúdo de B no solo em relação ao desvio padrão (DP) para os dois perfis avaliados, 0-20 e 20-40 cm, quando comparado com os demais tratamentos, com concentrações médias (0,288 mg kg⁻¹ e 0,268 mg kg⁻¹, respectivamente). Já na P2, no perfil de 0-20 cm, a testemunha apresentou menor dispersão do conteúdo de B no solo em relação aos demais tratamentos, com concentração média (0,188 mg kg⁻¹) e no perfil de 20-40 cm o oxissulfato apresentou a menor dispersão dos conteúdos de B no solo em relação aos demais tratamentos, com concentração média (0,156 mg kg⁻¹). Em relação às médias dos tratamentos nos perfis de solo da P1 e P2 avaliados houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade em relação aos perfis 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade (Tabela 4).

Segundo Barber (1995), o transporte do boro no solo até as raízes das plantas depende principalmente da absorção de água pela planta. O boro na solução do solo move-se até as raízes por meio do fluxo de massa, até que ocorra um equilíbrio entre as concentrações do nutriente nas raízes e na solução (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

Tabela 4 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores de boro no solo, nas texturas Franco arenosa (P1) e argilosa (P2) (mg kg⁻¹), na profundidade 0 -20 cm e 20 - 40 cm, avaliados após a colheita de soja nos tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg ha⁻¹), oxissulfato (22,6 kg ha⁻¹) e ulexita (28,5 kg ha⁻¹).

Profundidade (cm)	Tratamento	Arenoso (P1)		Argiloso (P2)	
		Média	DP	Média	DP
20	testemunha	0.402	0.074	0.188	0.025
	ácido bórico	0.288	0.042	0.262	0.049
	oxissulfato	0.414	0.094	0.222	0.027
	ulexita	0.364	0.096	0.266	0.066
Geral		0.367a ¹	0.056	0.235a	0.036

40	testemunha	0.332	0.079	0.158	0.019
	ácido bórico	0.268	0.063	0.226	0.069
	oxisulfato	0.298	0.071	0.156	0.015
	ulexita	0.298	0.114	0.184	0.036
Geral		0.299b	0.026	0.181b	0.032

¹Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ao nível de 0,05 de significância.

Fonte: Próprio autor, 2024.

4. 5. Teores médios de B nas folhas e raízes de milho na área da P1 e P2

Observou-se na P1, que a concentração de boro na raiz com ulexita teve um desempenho mais regular em relação aos demais tratamentos com uma menor dispersão no desvio-padrão (DP) e uma concentração média de 2,55 mg kg⁻¹; enquanto na folha, o ácido bórico teve melhor desempenho com concentração de 3,96 mg kg⁻¹ (Tabela 5). Já na P2, a menor concentração de B na raiz foi encontrada na testemunha com um desempenho mais regular em relação aos demais tratamentos com uma menor dispersão no desvio-padrão (DP) e uma concentração média de 2,88 mg kg⁻¹; a menor concentração de B na folha foi no oxisulfato com um desempenho mais regular em relação aos demais tratamentos com uma menor dispersão no desvio-padrão (DP) e uma concentração média de 3,90 mg kg⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 5- Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores do conteúdo de boro (mg/Kg) nas folhas e raízes de milho, de plantas cultivadas em solos com textura arenosa (P1), nos tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg ha⁻¹ B), oxisulfato (22,6 kg ha⁻¹ B) e ulexita (28,5 kg ha⁻¹ B), na escala original e na escala logarítmica.

Escala	testemunha		ácido bórico		oxisulfato		ulexita	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Original								
Raiz	13,71	2,47	12,83	5,08	15,02	6,18	13,09	2,70
Folha	61,86	32,94	53,84	12,36	61,35	20,46	61,83	23,49
Escala logarítmica								
Raiz	2,60	0,20	2,49	0,37	2,64	0,41	2,55	0,18
Folha	3,89	0,90	3,96	0,22	4,06	0,37	4,05	0,42
P-value	0,7366							
EPM	0,09779							

Fonte: Próprio autor, 2024

Tabela 6 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores do conteúdo de boro ((mg/Kg) nas folhas e raízes de milho, de plantas cultivadas em solos com textura argilosa (P2), nos tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg ha⁻¹ B), oxissulfato (22,6 kg ha⁻¹ B) e ulexita (28,5 kg ha⁻¹ B), na escala original e na escala logarítmica.

Escala	testemunha		ácido bórico		oxissulfato		ulexita	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Original								
Raíz	18,64	6,09	20,23	7,23	17,00	6,28	18,86	11,48
Folha	54,06	28,63	72,20	42,98	52,05	16,87	46,84	27,72
Escala logarítmica								
Raíz	2,88	0,32	2,95	0,35	2,78	0,33	2,81	0,53
Folha	3,85	0,62	4,08	0,75	3,90	0,33	3,69	0,63
P-value	0,6017							
EPM	0,09648							

Fonte: Próprio autor, 2024

Trabalhando com ácido bórico, borax e es-b, Aquino, (2018) encontrou que após cada cultivo, foi determinada a matéria seca da parte aérea (MS), o teor foliar de B, o conteúdo foliar de B, a taxa de recuperação de B e a eficiência relativa de absorção de B. O conteúdo de B na planta aumentou linearmente com aplicação do nutriente, para todas as fontes utilizadas. As fontes de B foram igualmente eficientes no suprimento de B para as plantas, não havendo diferenças estatísticas entre elas. Neste estudo, com diferentes fontes de boro (ácido bórico, oxissulfato e ulexita) também não houve diferença significativa entre as fontes sendo igualmente eficiente o suprimento de B tanto nas folhas como nas raízes.

Costa, (2021) trabalhando em sistema safrinha de soja/milho com doses de B encontrou que o melhor desempenho foi na dose de 6,0 kg ha⁻¹ de B para ulexita e octaborato de sódio e, nas doses de 3,78 e 3,40 kg ha⁻¹ o melhor desempenho foi para o ácido bórico e o tetraborato de sódio respectivamente. Para todas as fontes utilizadas houve ganhos em produtividade com a variação das doses.

4. 7. Teores médios de B nas espigas, semente e sabugo da área da P1 e P2

Observou-se na P1, que o peso do milho (g) na espiga, semente e sabugo para a ulexita teve um desempenho mais regular em relação aos demais

tratamentos com uma menor dispersão no desvio-padrão (DP) e uma concentração média de 8,74 g, 8,56 g e 6,84 g, respectivamente (Tabela 7). Já na P2, para o peso do milho (g) na espiga, semente e sabugo a testemunha teve um desempenho mais regular em relação aos demais tratamentos com uma menor dispersão no desvio-padrão (DP) e uma concentração média de 8,97 g, 8,82 g e 7,0 g, respectivamente (Tabela 8).

Trabalhando com teores de B nas folhas de milho, Corteva & Pioneer (2023) encontraram como resultado que o octaborato aplicado em área total foi superior ao ácido bórico no sulco de plantio.

Santos & Franco, (2021) trabalhando com ulexita e tetraborato de sódio também não encontraram diferença significativa para peso de grãos e sabugos.

A Rio Tinto (2021a) trabalhando com granubor, ulexita e cloreto de potássio + B (KCl+B) também não encontrou diferença significativa entre os tratamentos em relação a produtividade do milho, média das safras 2019/20 e 2020/21. Assim como, a Rio Tinto (2021b) não encontrou diferença significativa em relação aos tratamentos para a produção de soja e milho, média das safras 2019/20 e 2020/21. Nas duas pesquisas foram utilizados granubor, ulexita e KCl + B.

Tabela 7 – Estimativas de médias, desvio-padrão (DP), probabilidade associada ao modelo (P-values) e erro padrão da média (EPM) para o peso de milho, em grama da espiga, semente e sabugo com plantas cultivadas em solos arenosos (P1), após os tratamentos com testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg ha⁻¹ B), oxissulfato (22,6 kg ha⁻¹ B) e ulexita (28,5 kg ha⁻¹ B), na escala original e na escala logarítmica.

Escala	testemunha		ácido bórico		oxissulfato		ulexita	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Original								
Espiga	6726,65	569,80	6737,46	616,78	6598,84	457,27	6301,85	320,46
Semente	5709,86	480,00	5741,09	482,68	5636,21	372,03	5270,48	192,49
Sabugo	1009,93	99,37	990,15	134,64	976,39	92,89	937,73	66,08
Escala logarítmica								
Espiga	8,81	0,08	8,81	0,09	8,79	0,06	8,74	0,05
Semente	8,64	0,08	8,65	0,08	8,63	0,06	8,56	0,03
Sabugo	6,91	0,09	6,89	0,13	6,88	0,09	6,84	0,06
P-value	0.5914							
EPM	0.0371							

Fonte: Próprio autor, 2024

Tabela 8 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP), probabilidade associada ao modelo (P-values) e erro padrão da média (EPM) para o peso de milho, em grama da espiga, semente e sabugo com plantas cultivadas em solos argiloso (P2), após os tratamentos com testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg ha⁻¹ B), oxisulfato (22,6 kg ha⁻¹ B) e ulexita (28,5 kg ha⁻¹ B), na escala original e na escala logarítmica.

Escala	testemunha		ácido bórico		oxisulfato		ulexita	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Original								
Espiga	7921,34	324,48	7403,85	732,10	7603,56	556,59	7633,65	477,41
Semente	6813,24	253,63	6380,16	585,45	6562,05	426,63	6460,29	483,02
Sabugo	1105,04	90,98	1020,75	155,42	1039,26	133,31	1067,79	127,36
Escala logarítmica								
Espiga	8,97	0,04	8,90	0,09	8,93	0,07	8,93	0,06
Semente	8,82	0,03	8,75	0,08	8,78	0,06	8,77	0,07
Sabugo	7,00	0,08	6,91	0,14	6,93	0,13	6,96	0,12
P-value	0.3487							
EPM	0.0264							

Fonte: Próprio autor, 2024

Segundo Dechen et al., (2006), o girassol tratado com ácido bórico e submetido a stress hídrico em fases distintas de desenvolvimento concluiu que, independentemente da fase de aplicação ou não de estresse hídrico, a dose 0,5 mg dm⁻³ de B acarretou em maior produção de matéria seca total, produção de aquênios e rendimento de óleo por capítulo. E que, estresse hídrico a partir do início do florescimento ou no enchimento de aquênios acarreta menor produção de matéria seca total, de aquênios e de óleo.

Segundo Nogueira et al., (2019) trabalhando com doses de ácido bórico e Fertilizante com Zn, a adubação com zinco e as doses crescentes de boro não influenciaram significativamente a produtividade de grãos de milho primavera/ verão e outono em um solo argiloso com deficiência de boro em condições de Cerrado.

Trabalhando com milho, Jamami, (2001) utilizou ácido bórico como fertilizante contendo B e sulfato de zinco como fertilizante contendo zinco (Zn), concluiu que as aplicações de boro e zinco ao solo não resultaram ganhos de produtividade, sendo que os teores encontrados inicialmente no solo foram considerados suficientes para a produtividade atingida (0-20 cm 0,07 mg kg⁻¹ e 20 – 40 cm 0,03 mg kg⁻¹ B; 0-20 cm 0,3 mg kg⁻¹ e 20-40 cm 0,5 mg kg⁻¹ Zn).

4. 9. Teores médios de B nos solos das áreas P1 e P2 nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm logo após a colheita de milho

Observou-se que no solo da P1 o ácido bórico e o oxissulfato apresentaram menores dispersões dos conteúdos de B no solo em relação ao desvio padrão (DP) para o perfil avaliados, 0-20 cm, quando comparados com os demais tratamentos, com concentrações médias (0,24 mg kg⁻¹ e 0,21 mg kg⁻¹, respectivamente). No perfil de 20-40 cm de profundidade o ácido bórico, oxissulfato e a ulexita avaliada na testemunha apresentaram dispersões semelhantes nos conteúdos de B no solo em relação ao desvio padrão (DP), com concentrações médias (0,16 mg kg⁻¹, 0,20 mg kg⁻¹, 0,17 mg kg⁻¹ e 0,16 mg kg⁻¹, respectivamente).

Para os parâmetros avaliados na P2, no perfil de 0-20 cm, o oxissulfato apresentou menor dispersão do conteúdo de B no solo em relação aos demais tratamentos, com concentração média 0,27 mg kg⁻¹) enquanto no perfil de 20-40 cm, a testemunha e o oxissulfato apresentaram menores dispersões no teor de B no solo em relação aos demais tratamentos, com concentrações média de 0,21 mg kg⁻¹ e 0,24 mg kg⁻¹ respectivamente. Em relação às médias dos tratamentos nos perfis de solo da P1 e P2 avaliados houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade em relação aos perfis 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade (Tabela 9).

Tabela 9 - Estimativas de médias, desvio-padrão (DP) para teores do conteúdo de boro no solo, nas texturas arenosa (P1) e argilosa (P2), na profundidade 0-20 m e 20 a 40 cm de profundidade, avaliados após a colheita do milho para os tratamentos testemunha (0 B), ácido bórico (13,29 kg ha⁻¹), oxissulfato (22,6 kg ha⁻¹) e ulexita (28,5 kg ha⁻¹).

Profundidade (m)	Tratamento	Arenoso P1		Argiloso P2	
		Média	DP	Média	DP
20	testemunha	0.23	0.04	0.31	0.1
	ácido bórico	0.24	0.02	0.34	0.04
	oxissulfato	0.21	0.02	0.27	0.02
	ulexita	0.19	0.04	0.28	0.05
Geral		0.218a ¹	0.021	0.300	0.029
40	testemunha	0.16	0.02	0.21	0.03
	ácido bórico	0.20	0.02	0.25	0.04
	oxissulfato	0.17	0.02	0.24	0.03
	ulexita	0.16	0.02	0.25	0.04
Geral		0.173b	0.022	0.238	0.018

¹Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste F ao nível de 0,05 de significância.

Fonte: Próprio autor, 2024

Raij et al, (2004), trabalhando com ácido bórico, fritas (FTE) e ulexita, encontrou resultado semelhante, com as duas fontes disponibilizando de forma semelhante e o ácido bórico lixiviando 90% de Boro. Isto, muito provavelmente porque o ácido bórico disponibiliza seu conteúdo do elemento mais rápido do que os demais.

Observando-se o perfil de 20 a 40 cm e considerando os totais de chuva para 2022 (2.76,7 mm) e 2023 (1.613,3 mm) pode-se afirmar que pode ter ocorrido lixiviação de B para a camada de 20-40 cm. Resultado semelhante foi apresentado por Silvestrim, (2011).

Lauan et al., (1987) encontrou tores de B no solo, com 0-20 cm profundidade, maiores no solo com textura arenosa (16,3%) quando com parado com solo com textura argilosa (47,5%).

Trabalhando com ulexita, ulexita + turfa, borax, Correia et al., (2016) avaliou, em condições controladas, a lixiviação do B em dois solos com textura arenosa e argilosa e concluíram que a lixiviação do B foi maior no solo argiloso quando comparado com o arenoso.

4. CONCLUSÕES

Considerando os efeitos clima, solo e manejo podemos afirmar que para um ciclo safra/safrinha nos solos do cerrado, o ácido bórico, oxissulfato e ulexita atenderam as demandas da soja e do milho.

Não houve diferença significativa entre as fontes, portanto sendo igualmente eficiente o suprimento de B tanto nas folhas como nas raízes para cultura da Soja e do Milho e na produção do milho.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. O., SILVA, M. A. C. 2012. Efeito de doses de boro e zinco na absorção de nitrogênio e fósforo pelo algodoeiro em cultivo hidropônico. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7; n. 4, 574-579, 2012.

BASSO, David et al. A dinâmica de ocupação do espaço natural pelo processo de expansão da sojicultura no Brasil. Informe Gepec, v. 25, n. 1, p. 164-184, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do agronegócio. Brasil 2016/17 a 2026/27. Projeções de longo prazo. Brasília: SPA/Mapa, 2017.

BARBER, S. A., Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach, 2nd Edition, <https://www.wiley.com/en-us/Soil+Nutrient+Bioavailability%3A+A+Mechanistic+Approach%2C+2nd+Edition-p-9780471587477>, 1995.

BELTRÃO, N. E. de M., VALE, L. S. do, MARQUES, L. F., CARDOSO, G. D., SILVA, F. V. de F., Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.5, (Número Especial) p. 001 – 007, dezembro de 2010, <http://revista.gvaa.com.br>

DECHEN, A. R., NACHTIGALL (a), G. R., in SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Fertilidade do solo, 1ª edição, III Elementos requeridos à nutrição de plantas, Viçosa, MG, 107, 1017 pgs, 2007.

DECHEN, A. R., CASTRO, C. de, MOREIRA, A., OLIVEIRA R. F. de, Boro e Estresse Hídrico na produção do Girassol, parte da tese de doutorado, USP, Piracicaba, SP, 2006.

BONATO, Emidio Rizzo; BONATO, Ana Lidia Variani. A soja no Brasil: história e estatística. Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E), 1987.

BOLOGNA, I. R., Adubação boratada em pomar de Laranja pêra rio afetado pela Clorose variegada dos Citros, Tese de Mestrado – USP, Piracicaba, SP, 2003.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C. A evolução da produção de milho no Mato Grosso: Comunicado Técnico. A importância da safrinha. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency induced impairments of cellular functions in plants. Plant and Soil, The Hague, v. 193, n. 1/2, p. 71-83, June 1997.

CAMARGO de, O. A. (2006). Reações e interações de micronutrientes no solo. – Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm. Acesso em: 25 jun 2024.

CORREIA et al., (2016). Solubilidade e mobilidade de fertilizantes boratados em condições controladas. In: Martins, A. L. S. M. et al. Seminário Pibic Embrapa Solos 2015/2016. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p. 29-32.

DALL'AGNOL, Amélio et al. O complexo agroindustrial da soja brasileira. Embrapa SojaCircular Técnica (INFOTECA-E), 2007.

EMBRAPA, Manual de Métodos de Análise de Solos, 3ª edição, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, RJ, 574 pgs, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. O complexo agroindustrial da soja brasileira, Londrina, PR, 2007.

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, V. 25, n. 4, p. 929-937, 2001.

GAZZONI, Decio Luiz. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. Ciência e Cultura, v. 70, n. 3, p. 16-18, 2018.

GODOY, L.J.G., BÔAS, R.L.V., YANAGIWARA, R.S., BACKES, C., LIMA, C.P., Concentração foliar de manganês e zinco em laranjeiras adubadas com óxidos e carbonatos via foliar. Revista Ciência Agronômica. 44 (3). <https://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000300004>, 2013.

JAMAMI, N., Efeito de Boro e Zinco na cultura do Milho, Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Botucatu, SP, 2001.

JAVORSKI, M., RINALDI, L.K., JAVORSKI, D., SIMONETTI, A.P.M., MOREIRA, G. C., Qualidade de sementes de milho produzidas com diferentes doses de cálcio e boro. Revista Cultivando o Saber, 7(3), 41-51, 2014

LACERDA, J.J.J., LOPES, L.O., RAMBO, T.P., MARAFON, G., SILVA, A.O., LIRA, D.N.S (2017). Soybean Yield Responses to Micronutrient Fertilizers. In: KASAI, M. SOYBEAN, THE BASIS OF YIELD, Biomass and Productivity. 1 ed. p. 600.

MARCONI, A.; Freire, O.; Abrahão, I.O.; Brasil Sobrinho, M.O.C. Boro nos minerais, rochas, solos e plantas. Revista de Agricultura, Piracicaba, v. 55, p. 33- 39, 1980.

MASCARENHAS, H. A. H.; ESTEVES, J. A. F.; WUTKE, E. B.; RECO, P. C.; LEÃO, P. C. L. (2013). Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja. *Nucleus*, v.10, p.25-51.

MALAVOLTA, E.; GOMES, P. F.; ALCARDE, J. C. Adubos e adubações. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P. Nutrição e adubação do milho. In: Patemiani, E.; Viegas, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.541-593.

MALAVOLTA, E.; BOARETTI, A. E.; PAULINO, V.T. Micronutrientes: uma visão geral. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p.1-34.

NABLE, R. O.; BAÑUELOS, G. S.; PAULL, J. G. Boron toxicity. *Plant and Soil*, v. 193, n. 1/2, p. 181-198, 1997.

NOGUEIRA, L. M., TEIXEIRA Fo, M. C. M., MEGDA, M. M, GALINDO, F. S., BUZETTI, S., ALVES, C. J. 2019. Corn nutrition and yield as a function of boron rates and zinc fertilization. *Semina: Ciências Agrárias*, V.40, nº 6, 2545-2560, 2019.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. OECD. Dados no Brasil. Disponível em: <https://data.oecd.org/brazil.htm#profile-agriculture>. Acesso em: 02 jun. 2019.

OLIVEIRA, M. R. et al., Composição morfológica e nutricional de plantas e silagens de Milho em diferentes estádios de maturação, *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, volume12, número 2, pgs. 183-192, 2013.

PELICANO, Telhado, S.F. CAPDEVILLE, G. de. Tecnologias poupa-terra 2021. Área de Informação da Sede-Livro técnico (INFOTECA-E), 2021.

PORCIONATO, Gabriela Lanza; CASTRO, César Nunes de; PEREIRA, Caroline Nascimento. Aspectos sociais do Matopiba: análise sobre o desenvolvimento humano e a vulnerabilidade social. 2018.

PRADO, R. M. Nutrição de Plantas: diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal: Capes/Fundes, 2008. p. p.221-240.

PIAIA, Ivane Inês. Geografia de Mato Grosso. ren. Atual. Cuiabá: EdUNIC, 1999.

QUEIROZ, Fábio Albergaria et al. Impactos do comércio internacional de soja sobre a biodiversidade do Cerrado. In: II ENCONTRO ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE

PÓSGRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE. Indaiatuba, Brasil, Maio, 2004. Anais [...]. Indaiatuba, 2004.

RAIJ, B. V., Abreu, C. A., GABE, U., YASUDA, M., Abreu, M. F., Reação e movimentação de Boro no solo, aplicado como ulexita, fritas e ácido bórico, IAC, Campinas, SP, 2004.

RIO TINTO(a), Efeito de doses e diferentes fontes de boro na produtividade de milho em solos argilosos, Boletim técnico, 2021.

RIO TINTO(b), Efeito de doses e diferentes fontes de boro na produtividade de soja e milho em solos argilosos, Boletim técnico, 2021

ROSOLEM, C.A. Nutrição mineral e adubação de soja. Piracicaba: Instituto da Potassa, 1980. 80 p. (Boletim técnico, 6).

SANTINI, J. M. K., Buzetti, S., Galindo, F. S., Nogueira, L. M., Teixeira Fo M. C. M., Alves, C. J., Adubação boratada na cultura da soja em área de cerrado, XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, RN, 2015.

SANTOS, I. M.; DOTA, M. A. D. ; CUGNASCA, C. E. VISÃO GERAL DA APLICABILIDADE DE REDES DE SENSORES SEM FIO NO MONITORAMENTO AGRÍCOLA NO ESTADO DE MATO GROSSO. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2010 Ribeirão Preto - SP, Brasil, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/IvairtonSantos/publication/267805164_VISAO_GERAL_DA_APLICABILIDADE_DE_REDES_DE_SENSORES_SEM_FIO_NO_MONITORAMENTO_AGRICOLA_NO_ESTADO_DE_MATO_GROSSO/links/548708560cf268d28f0701d6/VISAO-GERAL-DA-APLICABILIDADE-DE-REDES-DE-SENSORES-SEM-FIO-NO-MONITORAMENTO-AGRICOLA-NO-ESTADO-DE-MATO-GROSSO.pdf>. Acesso: 04 nov de 2024.

SAS. 1996. SAS/STAT Software: Changes and Enhancements through Release 6.11. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

SANTOS, R. O., FRANCO, E. S. do E. S., Uso de diferentes fontes e doses de Boro na cultura do Milho, Faculdade de Ciências Sociais e Aplicadas do Vale do São Lourenço, Jaciara, MT, 2021.

SILVA, I. F., BARBOSA, A. M., TIRITAM, C. S., CATUCHI, T. A. 2014. Adubação boratada na cultura do arroz em solos de cerrado de baixa fertilidade. Colloquium Agrariae, v.10, n.1, 1-8, 2014.

SILVA, R. C. D. da, SILVA Jr., G. S. da, PELÁ, A., LANA, R. M. Q., SILVA, J. G. M. da, Doses, métodos e épocas de aplicação de boro na soja sob condições de

campo, Biosci. J., Uberlândia, v. 36, n. 6, p. 1999-2006, Nov./Dec. 2020. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n6a2020-48015>.

SILVA, R. C. D. da, Silva Jr., G. S. da, Silva, C. dos S., Santos, C., T. dos, Pelá, A., Nutrição com Boro na Soja em função da disponibilidade de água no solo, Revista Scientia Agraria, Versão On-line ISSN 1983-2443, Versão Impressa ISSN 1519-1125, SA vol. 18 n° 4. Curitiba Out/Dez 2017 p. 155-165.

SILVA, M. M. F. da, BUSO, W. H. D., Fontes e doses de Boro na cultura da Soja, Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 16, número 1, pgs. 50-61, jun. 2023. ISSN 1981-4089.

SILVESTREIN, F., Dinâmica de Boro no solo e planta e sua influência na cultura do milho em dois Latossolos de textura média, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SFREDO, G. J., BORKERT, C. M., Deficiências e Toxicidades de Nutrientes em plantas de Soja – Descrição dos sintomas e ilustração com fotos, Documentos 231, EMBRAPA Soja, Londrina, PR, 2004.

SILVA, D. H. da, Rossi, M. L., Boaretto, A. E., Nogueira, N. de L., Muraoka, T., **Boron affects the Growth and Ultrastructure of Castor Bean Plants**, Sci. Agric. (Piracicaba, SP), v.65, n.6, p.659-664, 2008.

SONGKHAM, P.; WUTTIKHUN, T.; CHANLEK, N.; KHEMTHONG, P.; LAOHHASURAYOTIN, K. Controlled release studies of boron and zinc from layered double hydroxides as the micronutrient hosts for agricultural application. Applied Clay Science, v. 152, p.311-322, 2018.

SILVA, A. O. Aplicação de diferentes fontes e doses de Boro na cultura do Milho. 24f. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal Goiano, campus Ceres, 2019.

SOUZA, H.A., Natale, W., Rozane, D.E., Hernandez, A., Romualdo, L.M. Calagem e adubação boratada na produção de feijoeiro. Revista Ciência Agronômica, 42(2), 249- 257, 2011.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. Soja. Nutrição, correção do solo e adubação. Campinas: FUNDAÇÃO CARGILL, 1992.

TEIXEIRA, A.J., Silveira, E.O., Silva, R.L., Carvalho, D.M.G. 2015. Produção de matéria seca total de duas cultivares de milho submetido à adubação mineral e orgânica. Revista Eletrônica Ciência e Desenvolvimento, V.1, nº 2, 12-21, 2015.

TOMICIOLI, R. M.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. *South American Sciences*. V.2., n.1; 2021.

VITTI, G.C., QUEIROZ, F.E.C., QUINTINO, T.A. (2005). Micronutrientes na cana-de-açúcar: mitos e realidades. Departamento de Solos e Nutrição de Plantas–ESALQ/USP–Piracicaba–SP. [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)71-73](https://doi.org/10.17138/tgft(1)71-73), 2005.

VILLAR, M. L. P. Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação. Cuiabá: EMPAER-MT, 2007. 182 p. (EMPAER-MT, Série Documentos, 35).

WESZ JUNIOR, Valdemar João et al. Dinâmicas recentes do agronegócio no Oeste do Pará (Brasil): expansão da soja e estruturação de corredores logísticos. *Mundo agrário*, v. 22, n. 50, p. 174-174, 2021.

WIMMER, M. A.; EICHERT, T. (2013). Review - Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, v. 203, p. 25–32, 2013

YAMADA, T.; LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, n.84, p. 143,1998