

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
CURSO DE AGRONOMIA

MARIA LETÍCIA DE CRISTO

FONTES DE ENXOFRE PARA A SUCESSÃO SOJA-TRIGO EM SISTEMA
PLANTIO DIRETO

PONTA GROSSA
2025

MARIA LETÍCIA DE CRISTO

FONTES DE ENXOFRE PARA A SUCESSÃO SOJA-TRIGO EM SISTEMA
PLANTIO DIRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para
obtenção de título de Engenheiro Agrônomo na
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

PONTA GROSSA
2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
COLEGIADO DO CURSO DE AGRONOMIA
COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OTCC - Ano 2025

AVALIAÇÃO DE TCC RELATÓRIO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Monografia: FONTES DE ENXOFRE PARA A SUCESSÃO
SOJA - TRIGO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.

Autor (a): MARIA LETÍCIA DE CRISTO

Data da defesa: 23/05/2025 Horário: 10h Local: SALA F41

Avaliadores:

1-Orientador (a): EDUARDO FIVERO CAIRES Assinatura: [Assinatura]

2-Avaliador (a): VANDERSON MODOLOM DANT Assinatura: [Assinatura]

3-Avaliador (a): REGIANE KAZMIERCZAK Assinatura: [Assinatura]

Itens a serem avaliados	Notas atribuídas		
	Orientador(a)	1º Avaliador(a)	2º Avaliador(a)
I- Apresentação oral (Até 2,0)	1,8	1,8	1,8
II- Trabalho escrito (Até 6,0)	5,6	5,6	5,4
III- Arguição (Até 2,0)	1,6	1,6	2,0
TOTAL	9,0	9,0	9,2
MÉDIA FINAL *	9,1		

* Orientador(a) nota final com uma casa após a vírgula

Atenção Professor(a) ORIENTADOR(A):

No caso de apresentação de trabalho, em evento técnico-científico, no qual o acadêmico conste como autor, poderá ser acrescentado ATÉ 10% da nota, na somatória final. Apresentar comprovante junto com os documentos entregues para a Coordenação de TCC.

FORMULÁRIO 4
OTCC
AGRONOMIA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me permitir chegar até aqui com calma e sabedoria para enfrentar todos os desafios.

Aos meus pais, pelo apoio, conselhos e incentivo durante toda a caminhada nos estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires, pela oportunidade e conhecimentos transmitidos ao longo da realização do trabalho.

Aos meus amigos e colegas de turma que estiveram ao meu lado ao longo de toda essa jornada, tornando a caminhada na faculdade mais leve e divertida.

Aos meus amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo, Nátally Smaha, Heloisa Mota, Leonardo Borato, Murilo Rodrigues, Rhelmmmer Schwartz e a todos os demais integrantes pelo apoio e companheirismo e que em algum momento foram necessários e tiveram presentes para realização desse projeto.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e a Fazenda Escola “Capão da Onça”, pela oportunidade de aprendizado.

À FAUEPG, pela administração e apoio financeiro para realização desse trabalho.

E a todos que de alguma maneira estiveram presentes e contribuíram para a minha formação.

RESUMO

CRISTO, M. L. de. **Fontes de enxofre para a sucessão soja-trigo em sistema plantio direto.** Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires. Ponta Grossa, 2025. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2025.

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill], originária da Ásia, destaca-se globalmente pelo alto teor de óleo, proteína e fonte de matéria-prima para a fabricação de rações e alimentos para animais, sendo o Brasil o maior produtor mundial. Já, o trigo (*Triticum aestivum* L.), principal cereal de inverno, contribui para a conservação do solo e diversificação de culturas, sendo amplamente cultivado na região Sul do Brasil para alimentação humana e animal. O enxofre (S) é um nutriente fundamental para a síntese de aminoácidos e proteínas, embora seja comumente negligenciado na adubação. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a resposta das culturas de soja e trigo às aplicações de S elementar e superfosfato simples (SSP), bem como seus efeitos sobre os teores de fósforo (P) e S no solo. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho distrófico, sob sistema plantio direto, na Fazenda Escola “Capão da Onça” da Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com três tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de um controle sem fonte de S [fosfato monoamônico (MAP)] e, de aplicações de MAP + S elementar e SSP na cultura da soja. As aplicações de MAP e SSP foram realizadas no sulco de semeadura da soja e a adição de S elementar foi realizada à lanço por ocasião da semeadura da soja. A dose de S usada pelas fontes foi de 65 kg ha⁻¹ visando suprir S para a sucessão soja-trigo. Foram realizadas avaliações dos teores foliares de nutrientes e da produtividade de grãos de soja e trigo, bem como análises de solo para determinação dos teores de fósforo (P) e S. A adição de S elementar ao MAP promoveu o aumento do teor foliar de S nas plantas de trigo. A aplicação de S elementar resultou em aumentos significativos nos teores de S-SO₄ ao longo do perfil do solo. As produtividades de grãos das duas culturas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Os resultados demonstraram que o S elementar é uma fonte alternativa promissora para o fornecimento gradual desse nutriente ao solo, contribuindo para a nutrição das culturas em sistemas de produção sob plantio direto.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Triticum aestivum*, adubação fosfatada, S elementar, fertilizantes

ABSTRACT

CRISTO, M. L. de. **Sulfur sources for a soybean-wheat succession under a no-till system.** Advisor: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires. Ponta Grossa, 2025. Undergraduate Thesis – State University of Ponta Grossa, 2025.

Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill], originally from Asia, stands out worldwide for its high oil and protein content and as a source of raw material for the production of animal feed and food, with Brazil being the world's largest producer. Wheat (*Triticum aestivum* L.), the main winter cereal, contributes to soil conservation and crop diversification, and is widely cultivated in the southern region of Brazil for human and animal consumption. Sulfur (S) is a fundamental nutrient for the synthesis of amino acids and proteins, although it is commonly neglected in fertilization. This study aimed to evaluate the response of soybean and wheat crops to applications of elemental S and simple superphosphate (SSP), as well as its effects on the levels of phosphorus (P) and S in the soil. The experiment was carried out on an Oxisol under a no-till system, at the “Capão da Onça” School Farm of the State University of Ponta Grossa, PR, Brazil. A randomized block design was used, with three treatments and four replicates. The treatments consisted of a control without S source [monoammonium phosphate (MAP)] and applications of MAP + elemental S and SSP in soybean crop. MAP and SSP applications were made in the soybean sowing furrow, and elemental S was added by broadcasting at soybean sowing. The S dose used by the sources was 65 kg ha⁻¹ to supply S for the soybean-wheat succession. Assessments of nutrient content in leaves and grain yield of soybean and wheat, as well as soil analyses to determine phosphorus P and S contents were performed. The addition of elemental S to MAP promoted an increase in leaf S content in wheat plants. The application of elemental S resulted in significant increases in SO₄-S contents throughout the soil profile. Grain yields of the two crops showed no significant differences to the treatments. The results demonstrated that elemental S is a promising alternative source for the gradual supply of this nutrient to the soil, contributing to crop nutrition in no-till cropping systems.

Keywords: *Glycine max*, *Triticum aestivum*, phosphate fertilization, elemental sulfur, fertilizers

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluvial mensal e histórica da região de Ponta Grossa - PR. A soja foi cultivada em dois anos consecutivos de dezembro de 2022 a abril de 2023 e de dezembro de 2023 a abril de 2024 e o trigo foi cultivado de junho de 2023 a outubro de 2023 e de junho de 2024 a outubro de 2024. 19
- Figura 2.** Teor de P (Mehlich-1) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, após a colheita do trigo em 2024, considerando as aplicações de MAP, MAP + S elementar e SSP. ns: não-significativo. Ponta Grossa-PR. 25
- Figura 3.** Teor de S-SO₄ no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, após a colheita do trigo em 2024, considerando as aplicações de MAP, MAP + S elementar e SSP. Letras iguais para as fontes de fertilizantes, dentro de cada profundidade do solo, não diferem entre si pelo teste LSD a 5%. Ponta Grossa-PR. 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados das análises químicas e granulométricas na profundidade de 0-20 cm de solo em 2021, antes do estabelecimento do experimento, em Ponta Grossa- PR.	19
Tabela 2. Concentrações de nutrientes nas folhas e produtividades de grãos de soja cultivada em 2022-2023 em função das aplicações de fontes de S.....	22
Tabela 3. Concentrações de nutrientes nas folhas e produtividades de grãos de soja cultivada em 2023-2024 em função das aplicações de fontes de S.....	22
Tabela 4. Concentrações de nutrientes nas folhas e produtividades de grãos de trigo cultivado em 2023 em função das aplicações de fontes de S.....	23
Tabela 5. Concentrações de nutrientes nas folhas e produtividades de grãos de trigo cultivado em 2024 em função das aplicações de fontes de S.....	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA.....	11
2.2	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO TRIGO	11
2.3	SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	12
2.4	ADUBAÇÃO FOSFATADA	13
2.5	ADUBAÇÃO COM ENXOFRE	14
3	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVO GERAL	16
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4	HIPÓTESES	17
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1	LOCAL DO EXPERIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	18
5.2	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	18
5.3	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	19
5.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	19
5.5	SEMEADURA DA SOJA E DO TRIGO.....	20
5.6	AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO TECIDO FOLIAR DA SOJA E DO TRIGO	20
5.7	AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO.....	20
5.8	COLHEITA E PRODUTIVIDADE DA SOJA E DO TRIGO.....	21
5.9	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	21
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6.1	TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E PRODUTIVIDADE DE SOJA.....	22
6.2	TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E PRODUTIVIDADE DE TRIGO ..	23
6.3	TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO	24
7	CONCLUSÕES	27
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], seguido pelos Estados Unidos da América (EUA). A produção brasileira de soja na safra 2023/2024 foi de 148 milhões de toneladas (CONAB, 2024). Cultivada na estação primavera-verão, a soja é a oleaginosa mais produzida no mundo e a principal matéria-prima para a fabricação de rações e alimentos para animais, devido ao seu alto teor de proteína (EMBRAPA, 2021). O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal utilizado tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal, além de servir como base para diversos produtos. O Brasil chegou a uma produção próxima a 8 milhões de toneladas de trigo em 2024 (CONAB, 2024). Além de sua importância econômica, o trigo desempenha um papel fundamental nos sistemas de rotação de culturas, sendo um dos pilares do sistema plantio direto.

O plantio direto é um sistema mais conservacionista de trabalhar a terra que avançou na agricultura brasileira a partir da década de 1970, visando reduzir perdas de solo por erosão, assim como melhorar a qualidade da água e dos solos (EMBRAPA, 2022). Em solos altamente intemperizados, comuns no Brasil, a manutenção de uma boa cobertura vegetal é fundamental para garantir a eficiência desse sistema. Nesse contexto, a adubação das plantas de cobertura se destaca como uma prática promissora (Caires *et al.*, 2017).

Devido ao intenso intemperismo e à baixa fertilidade natural, os solos brasileiros exigem maior reposição de nutrientes para sustentar a produção agrícola. Como resultado, o aumento na produção de grãos no país tem sido acompanhado por um crescimento significativo no uso de fertilizantes. Sendo assim, a adubação com nutrientes como fósforo (P) e enxofre (S), é de extrema importância para o desenvolvimento das culturas. Visto isso, uma das principais fontes utilizadas para suprir a necessidade de P para as plantas é o fosfato monoamônico (MAP). Outra fonte também bastante utilizada no fornecimento de P é o superfosfato simples (SSP), o qual também atua como fonte de S, nutriente muitas vezes negligenciado na adubação. Para adubação com S, os principais fertilizantes usados na agricultura são o SSP e o S elementar.

A necessidade de uso de fertilizantes depende das exigências específicas das culturas e da produtividade almejada. O P é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, pois participa do armazenamento e transferência de energia na fotossíntese e na respiração, além de compor membranas biológicas (Malavolta, 2006). Sua deficiência pode causar danos irreversíveis às culturas e dificultar a absorção de outros nutrientes.

O S exerce funções fundamentais no desenvolvimento das plantas, incluindo a formação de aminoácidos essenciais para a síntese de proteínas, além de contribuir para a nodulação, processo indispensável para a fixação biológica de nitrogênio (EMBRAPA, 2007). O SSP possui 11 a 12% de S na forma de sulfato, o que garante rápida solubilização e disponibilidade para as plantas. Já, o S elementar apresenta 90% de S, sendo uma alternativa eficiente para fornecer o nutriente e reduzir custos de produção. No entanto, Horowitz e Meurer (2006) destacam que o S elementar precisa passar por processos de oxidação a sulfato, catalisados por enzimas produzidas por microrganismos, para se tornar disponível para absorção pelas plantas.

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a resposta das culturas de soja e trigo às aplicações de SSP e S elementar, bem como seus efeitos sobre os teores de P e S-SO₄ no solo, em sistema plantio direto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill], pertencente à família Fabaceae, tem seu centro de origem na Ásia, especificamente no nordeste da China. Ao longo dos anos, a soja se difundiu para o mundo, passando por transformações e adaptações quanto ao clima através de programas de melhoramento genético, os quais foram muito importantes para o sucesso dessa leguminosa (Gazzoni, 2018).

A cultura, atualmente, é protagonista na agricultura e na economia mundial, sendo utilizada tanto pela agroindústria, devido a seu alto teor de óleo e proteína nos grãos, como pela indústria química e de alimentos. Além disso, apresenta um crescente ramo nos estudos para produção de biocombustíveis (Freitas, 2011). No mercado global, a oleaginosa ganha destaque como uma das *commodities* agropecuárias de maior importância, portanto, pode ser produzida e negociada por produtores de numerosos países (Hirakuri; Lazzarotto, 2014).

O Brasil, nas últimas décadas apresentou grande avanço na produção da soja, promovida tanto pelo aumento de área, quanto pelo incremento na produtividade, aplicando-se técnicas de manejo adequadas e modernas para a cultura, como inoculação de sementes, correção de acidez do solo e adubação. Destaca-se o alcance do recorde de produção no país na safra 2022/2023, com mais de 154 milhões de toneladas e, 148 milhões de toneladas na safra 2023/2024 (Freitas, 2011; CONAB, 2024).

2.2 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal de inverno pertencente à família Poaceae, originário na Ásia, especificamente na região Sudoeste do continente, conhecida como Crescente Fértil. Além disso, a sua domesticação auxiliou na mudança do estilo de vida nômade para o estabelecimento dos primeiros povoados (EMBRAPA, 2016).

A cultura é de grande importância na economia global, tendo em vista que é o principal cereal de inverno produzido no mundo e um dos três principais da família Poaceae, juntamente com o arroz e o milho. O trigo abrange áreas do mundo todo, destacando-se a China e a União Europeia como os maiores produtores (Takeiti 2021; USDA, 2023).

Além de seu uso na indústria para a produção de farinha, especialmente na fabricação de produtos panificáveis (CONAB, 2017), o trigo também se destaca na agricultura pelos

benefícios que oferece ao sistema plantio direto. A cultura representa uma excelente alternativa de cultivo de inverno, promovendo proteção e conservação do solo por meio da palhada e, ao mesmo tempo, gerando retorno econômico ao produtor.

Em 2024, o Brasil se aproximou de uma produção de 8 milhões de toneladas de grãos de trigo. O trigo é cultivado, principalmente, nos estados da região Sul do Brasil, onde se concentra a produção tradicional. Além disso, seu cultivo tem se expandido para áreas do Sudeste e Centro-Oeste do país (CONAB, 2024).

Na região Sul, a cultura do trigo se torna uma excelente opção para o período de inverno, pois além de promover a diversificação de espécies ao sistema de rotação de culturas, ainda gera receita com a produção de grãos (Bona; Mori; Wiethölter, 2016).

2.3 SISTEMA PLANTIO DIRETO

O sistema plantio direto é considerado a prática de manejo mais conservacionista do solo. Esse sistema surgiu na Inglaterra e nos EUA na década de 1950, e foi introduzido no Brasil por volta dos anos 1970, mais especificamente nos Estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, como uma forma de minimizar os impactos causados pela erosão, visando conservar o solo (Motter; Almeida, 2015). Segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP, 2022), o Brasil conta atualmente com mais de 33 milhões de hectares cultivados nesse sistema.

O sistema plantio direto baseia-se em três princípios básicos: (i) não-revolvimento do solo, com mobilização restrita à linha de semeadura, (ii) rotação de culturas e (iii) cultivo de plantas de cobertura. Esse sistema integra diversas práticas que visam a redução de custos e a promoção da sustentabilidade ambiental, favorecendo interações biológicas e processos naturais benéficos ao solo (Freitas, 2005).

Dentre os benefícios do sistema plantio direto, destaca-se sua proximidade com o conceito de agricultura sustentável ao longo do tempo. Isso se deve às suas diversas vantagens em comparação ao preparo convencional do solo, como redução da erosão, aumento no teor de matéria orgânica com consequente melhoria da fertilidade do solo, e aumento na rentabilidade da produção agrícola. No entanto, é fundamental compreender as condições edafoclimáticas da área de produção e realizar a adubação adequada (Cruz *et al.*, 2001).

2.4 ADUBAÇÃO FOSFATADA

O P é um dos nutrientes essenciais que mais influencia o crescimento das plantas e muito utilizado na adubação. Sua disponibilidade no solo é fundamental para o vigor, o desenvolvimento e a qualidade nutricional das culturas (Malavolta, 1980). O P no solo pode ser dividido em dois grupos principais: P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po), a depender do composto em que faz ligação, assim como, a facilidade com que repõe o P na solução do solo. As duas formas (Pi e Po) são essenciais para o desenvolvimento das plantas. Entretanto, sua disponibilidade depende das características edafoclimáticas, principalmente por ser um nutriente de baixa mobilidade no solo (Santos; Gatiboni; Kaminski, 2008).

O P desempenha papéis cruciais para o crescimento das plantas, estando presente nas moléculas de açúcares fosfatados que fazem parte da fotossíntese, a qual capta energia solar e converte em energia química, além de ser componente de nucleotídeos que compõem os ácidos nucleicos (DNA e RNA), do metabolismo energético das plantas (ATP) e dos fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais (Taiz *et al.*, 2017).

A deficiência de P na cultura da soja é mais evidente nas folhas mais velhas e intermediárias, as quais podem apresentar cor verde-escura ou verde-azulada, com posterior clorose generalizada; tais sintomas são acentuados nos estádios de florescimento e maturação, promovendo atraso no ciclo da cultura e, conseqüentemente, redução no crescimento das plantas (Rosolem; Tavares, 2006). Na cultura do trigo, a insuficiência de P é mais evidente nos estádios iniciais de crescimento das plantas, manifestando-se pelo bronzeamento ou pela coloração púrpura no colmo e nas folhas mais velhas, progredindo da extremidade para a base da folha. Com o agravamento da deficiência, observa-se o secamento das folhas mais velhas, além de redução no crescimento das plantas e no número de afilhos (Bona; Mori; Wiethölter, 2016).

As fontes de P utilizadas na agricultura podem ser solúveis, pouco solúveis e insolúveis (Korndörfer; Lara-cabezas; Horowitz, 1999). Os fertilizantes fosfatados insolúveis, também conhecidos como fosfatos naturais, não disponibilizam prontamente o P para as plantas e, além disso, apresentam menor eficiência agrônômica (Resende *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2015). Por outro lado, as fontes solúveis ou pouco solúveis, quando aplicadas no solo, elevam rapidamente a concentração de P na solução, porém sua eficiência tende a diminuir com o tempo devido aos processos de adsorção e fixação, comuns na maioria dos solos brasileiros (Souza *et al.*, 2020). Fontes como SSP, superfosfato triplo e os fosfatos de amônio [MAP e fosfato

diamônico (DAP)], são exemplos de fertilizantes fosfatados solúveis em água que são amplamente utilizados e comercializados no país, devido a sua alta solubilidade (Santos *et al.*, 2008).

O MAP é a fonte com maior concentração de P entre os fosfatos solúveis. Além disso, também apresenta N amoniacal em sua composição, sendo amplamente comercializado como 11-52-00 (N-P₂O₅-K₂O). Esse fertilizante é produzido a partir do ácido fosfórico, juntamente com fosfatos de amônio (Reetz, 2017).

O SSP é outro fertilizante fosfatado solúvel que apresenta na sua composição 16 a 20% de P₂O₅, 18 a 21% de Ca e 11 a 12% de S. Esse fertilizante já foi amplamente utilizado na agricultura, no entanto, sua aplicação tem sido substituída por outras fontes mais concentradas devido ao seu relativamente baixo teor de P (Reetz, 2017). Os nutrientes presentes na formulação do SSP interagem entre si e influenciam a disponibilidade de outros nutrientes para as plantas. O S, por exemplo, desempenha papel fundamental na síntese de aminoácidos, como cisteína e metionina. A falta desse nutriente pode comprometer a assimilação do N, impactando a produção de proteínas. Além disso, o Ca presente no SSP pode competir com o K pelo processo de absorção radicular, especialmente em solos com baixos níveis de K, o que pode afetar o desenvolvimento das plantas (Malavolta; Vitti; De Oliveira, 1997). A fabricação de SSP envolve a acidulação da rocha fosfática. Trata-se de um fertilizante com alta solubilidade em água e que atua como uma fonte alternativa de S (Loureiro; Monte; Nascimento, 2008).

2.5 ADUBAÇÃO COM ENXOFRE

O S é um nutriente considerado secundário na adubação. Apesar de ser essencial para o crescimento das plantas, sua absorção é relativamente menor quando comparada aos macronutrientes primários (N, P e K), mas consideravelmente maior do que a dos micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn) (Reetz, 2017).

Os solos brasileiros normalmente apresentam baixa concentração de S (Malavolta, 1982), devido ao manejo intensivo do solo e à baixa fertilidade, os quais contribuem para a redução do teor de matéria orgânica que está diretamente relacionada com o teor de S no solo. Quando esse fator é aliado à aplicação superficial de corretivos, há aumento na movimentação do S e aumento da exportação pelos grãos (Ceratti, 2018; Vitti, 2007). Além disso, devido à sua alta mobilidade, esse nutriente tende a acumular nas camadas mais profundas do solo (EMBRAPA, 2021). Nos solos, o S está presente em duas formas: orgânica e inorgânica, sendo

mais de 90% na forma orgânica. Portanto, para que as plantas possam absorvê-lo, o S orgânico precisa passar pelo processo de mineralização, convertendo-se em sulfato (SO_4^{2-}) que é a forma inorgânica assimilável pelas plantas (Rheinheimer *et al.*, 2005).

O S exerce funções fundamentais no desenvolvimento das plantas, incluindo a formação de aminoácidos essenciais para a síntese de proteínas, enzimas e coenzimas. Além disso, contribui para a nodulação, processo indispensável para a fixação biológica do nitrogênio (EMBRAPA, 2007). A deficiência de S nas plantas, se manifesta nas folhas jovens devido à sua baixa mobilidade no floema. Os sintomas incluem, clorose uniforme, semelhante à deficiência de N (Sfredo; Borkert, 2004).

As fontes de S mais utilizadas para suprir as necessidades das plantas são o sulfato de cálcio [gesso (14 a 17% S)], o sulfato de amônio (24% S), o SSP (11 a 12% S) e o S elementar (90% S) (Reetz, 2017). O gesso agrícola, subproduto da produção de ácido fosfórico, é composto principalmente por sulfato de cálcio, sendo assim, pode ser utilizado como fonte de S e Ca, além de atuar como condicionador do solo (Caires *et al.*, 2003).

O S elementar é uma das fontes de S disponíveis no mercado que, para ser absorvido pelas plantas, necessita ser oxidado a sulfato. Isso ocorre através da atividade de microrganismos presentes no solo, principalmente de *Thiobacillus*. Sendo assim, o S elementar se transforma em ânion sulfato (SO_4^{2-}) para, então, estar prontamente disponível para absorção e incorporação nos tecidos das plantas (Ceratti, 2018; Reetz, 2017; Horowitz; Meurer, 2006). Porém, a eficiência da utilização de S elementar em sistema plantio direto carece de mais informações.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as respostas das culturas de soja e trigo à aplicação de fontes de S à base de SSP e S elementar, bem como seus efeitos sobre os teores de Fósforo (P) e Enxofre (S) no solo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a nutrição das culturas de soja e trigo em função de aplicações de MAP, SSP e MAP + S elementar.

Avaliar a produtividade de grãos de soja e trigo em função das aplicações de MAP, SSP e MAP + S elementar.

Avaliar os teores de P (Mehlich-1) e de S-SO₄ no perfil do solo após dois anos de aplicações de MAP, SSP e MAP + S elementar para as duas sucessões soja-trigo.

4 HIPÓTESES

As aplicações de SSP e de MAP + S elementar promovem melhoria na disponibilidade de S-SO₄ no solo, na nutrição das plantas e na produtividade de grãos de soja e trigo em comparação com a aplicação isolada de MAP em sistema plantio direto.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCAL DO EXPERIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi realizado no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, na Fazenda Escola Capão da Onça da Universidade Estadual de Ponta Grossa (latitude Sul 25°5'30" e longitude Oeste 50°3'18"), com altitude de 1000 m.

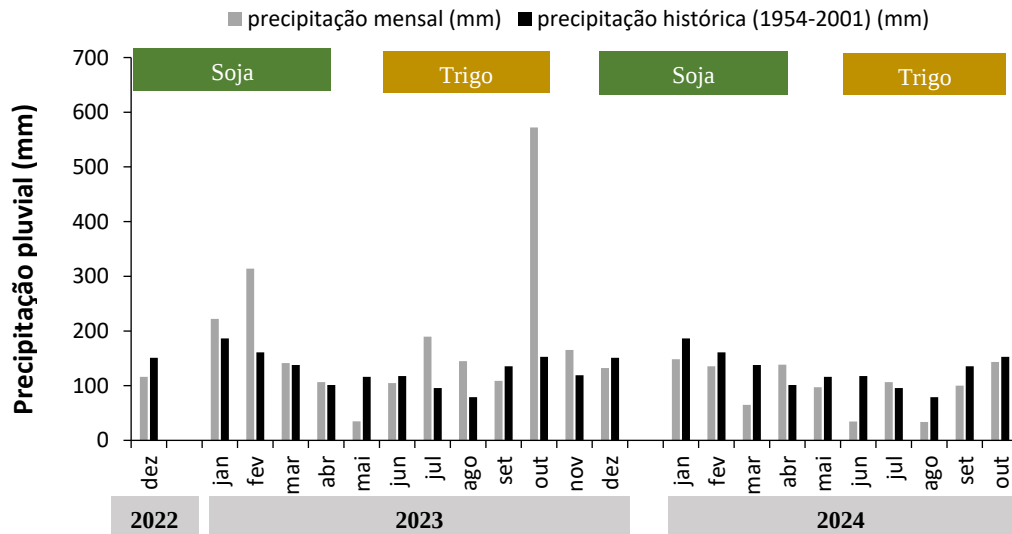
5.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O clima é classificado como Cfb, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007), com geadas frequentes durante o inverno, verão ameno e chuvas relativamente bem distribuídas ao longo do ano.

Nota-se que na primeira safra de soja, a precipitação pluvial para o mês de dezembro de 2022 (116 mm) foi menor do que a média histórica (151 mm), enquanto para o restante do ciclo da cultura, a precipitação pluvial foi maior em todos os meses em sequência, chegando a 314 mm no mês de fevereiro de 2023 (Figura 1). Já, após a segunda safra de soja em 2023, a precipitação pluvial foi menor que a média histórica ao longo do ciclo da cultura, a qual pode ter gerado um estresse hídrico nas plantas.

No caso do trigo, após a primeira semeadura em 2023, as chuvas foram excessivas durante o ciclo da cultura (Figura 1). A precipitação pluvial do mês de outubro foi uma das maiores da história (572 mm), superando e muito a média histórica da região (153 mm). Como consequência, a colheita e a qualidade do trigo foram prejudicadas. Já, após a semeadura do trigo em 2024, a precipitação pluvial foi maior que a histórica apenas no mês de julho (107 mm), enquanto o restante dos meses em que a cultura ficou a campo, a quantidade de chuvas foi menor quando comparada à média histórica.

Figura 1. Precipitação pluvial mensal e histórica da região de Ponta Grossa - PR. A soja foi cultivada em dois anos consecutivos de dezembro de 2022 a abril de 2023 e de dezembro de 2023 a abril de 2024 e o trigo foi cultivado de junho de 2023 a outubro de 2023 e de junho de 2024 a outubro de 2024.



Fonte: Dados mensais de precipitação pluvial obtidos na estação meteorológica da BASF, localizada na Fazenda Capão da Onça. Dados históricos de precipitação pluvial média (1954 a 2001) obtidos na estação meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2022).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho distrófico (Santos *et al.*, 2018) textura média, sob sistema plantio direto. Os resultados de análises químicas (Pavan *et al.*, 1992) e granulométricas (EMBRAPA, 1997) do solo, na profundidade de 0-20 cm, antes do estabelecimento do experimento, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises químicas e granulométricas na profundidade de 0-20 cm de solo em 2021, antes do estabelecimento do experimento, em Ponta Grossa- PR.

pH ¹	H+Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ²	P ³	S	C	Argila	Silte	Areia
	----- cmol _c dm ⁻³ -----						--- mg dm ⁻³ ---		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----		
4,9	5,39	0,1	3,2	1,0	0,34	9,87	16,2	3,4	17,4	290	129	581

¹pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. ²Capacidade de troca catiônica a pH 7,0. ³P extraído com solução de Mehlich-1.

5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três tratamentos e quatro repetições. O tamanho das parcelas foi de 10 m × 4,5 m (45 m²). Os tratamentos foram constituídos de um controle sem fonte de S (MAP) e de aplicações de SSP e MAP + S elementar. As aplicações de SSP e MAP foram realizadas de forma mecanizada, na dose de 100 kg ha⁻¹ de

P₂O₅ no sulco de semeadura da soja, utilizando-se semeadora de plantio direto. No tratamento com MAP + S elementar, a aplicação de S elementar foi realizada na dose de 65 kg S ha⁻¹, a lanço sobre a superfície do solo, por ocasião da semeadura da soja. Os fertilizantes utilizados tinham as seguintes composições: MAP (11% N e 52% P₂O₅), SSP (3% N, 17% P₂O₅ e 11% S) e S elementar (90% S e 10% bentonita).

5.5 SEMEADURA DA SOJA E DO TRIGO

O estudo foi realizado de 2022 a 2024 com soja (*Glycine max* L.) nas estações primavera-verão e trigo (*Triticum aestivum* L.) nas estações outono-inverno. A soja, cultivares NS 5445 IPRO em 2022 e BMX Cromo TF IPRO em 2023, foi semeada na densidade de 14 sementes por metro e espaçamento entre de 0,45 m entre as linhas. A adubação potássica foi realizada por meio da aplicação de cloreto de potássio (KCl) na dose de 60 kg K₂O ha⁻¹ a lanço sobre a superfície, logo após a semeadura. O trigo, cultivar TBio Calibre em 2023 e 2024, foi semeado na densidade de 145 kg ha⁻¹ de sementes e espaçamento de 0,17 m entre as linhas. A adubação nitrogenada foi realizada por meio da aplicação de ureia nas doses de 30 kg N ha⁻¹ logo após a semeadura e de 70 kg N ha⁻¹ por ocasião do perfilhamento. A adubação potássica foi realizada por meio da aplicação de KCl na dose de 60 kg K₂O ha⁻¹ a lanço sobre a superfície junto com a cobertura nitrogenada no perfilhamento. O controle fitossanitário foi conduzido conforme as exigências das culturas de soja e trigo, com o objetivo de garantir condições sanitárias adequadas ao longo do ciclo de desenvolvimento das culturas no campo.

5.6 AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO TECIDO FOLIAR DA SOJA E DO TRIGO

Foram coletadas amostras de folhas de trigo e soja em 30 plantas por parcela durante a fase de florescimento das culturas para a realização da diagnose foliar. No trigo, foi realizada a coleta da folha bandeira, enquanto na soja, o material coletado correspondeu ao terceiro trifólio a partir do ápice das plantas. As amostras foram lavadas com água deionizada, secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60°C até atingirem massa constante e, posteriormente, moídas. A determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, e S foi realizada seguindo os métodos descritos por Malavolta *et al.* (1997).

5.7 AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

Amostras de solo foram coletadas após a colheita do trigo em 2024, dois anos após o início do experimento, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. As amostras de solo foram secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 40°C,

destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Foram determinados teores de P (Mehlich-1) e de S-SO₄ no solo, conforme os métodos descritos em Pavan *et al.* (1992) e Cantarella e Prochnow (2001), respectivamente.

5.8 COLHEITA E PRODUTIVIDADE DA SOJA E DO TRIGO

A colheita dos grãos foi realizada de forma mecanizada nas linhas centrais, após as culturas de trigo e soja atingirem a maturidade fisiológica. Em cada parcela, os grãos de soja foram colhidos em 4 linhas centrais por 8 m de comprimento (14,40 m²), e o grãos de trigo em 9 linhas centrais × 8 m de comprimento (12,24 m²).

5.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) segundo o delineamento em blocos casualizados e os efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste LSD ao nível de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E PRODUTIVIDADE DE SOJA

Os teores de nutrientes nas folhas de soja, nos dois cultivos (2022-2023 e 2023-2024), não foram influenciados significativamente pelas fontes de S aplicadas (Tabelas 2 e 3). As produtividades de grãos de soja, nos dois cultivos, também não foram influenciadas significativamente pelos tratamentos com diferentes fontes de S.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produtividade média da soja no Brasil na safra 2022-2023 foi de 3589 kg ha⁻¹, semelhante à média de grãos obtida no experimento, de 3694 kg ha⁻¹. Já, em 2023-24, a produtividade média de soja no Brasil foi de 3202 kg ha⁻¹ e a obtida no experimento foi 36% maior (4357 kg ha⁻¹).

Tabela 2. Concentrações de nutrientes nas folhas e produtividades de grãos de soja cultivada em 2022-2023 em função das aplicações de fontes de S.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Produtividade
	-----g kg ⁻¹ -----						kg ha ⁻¹
MAP	40,1	6,1	37,3	10,3	3,3	2,1	3755
MAP+S	44,1	5,3	37,7	10,3	3,3	2,1	3708
SSP	40,3	5,2	40,9	10,5	3,1	2,1	3619
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6,52	9,44	6,07	8,91	5,52	2,32	7,56

ns: não-significativo.

Tabela 3. Concentrações de nutrientes nas folhas e produtividades de grãos de soja cultivada em 2023-2024 em função das aplicações de fontes de S.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Produtividade
	-----g kg ⁻¹ -----						kg ha ⁻¹
MAP	49,2	5,4	31,9	10,0	3,6	2,1	4566
MAP+S	48,9	5,3	34,5	10,5	3,5	2,1	4154
SSP	51,8	5,9	31,2	10,6	3,6	2,1	4350
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8,64	8,84	5,68	8,48	5,05	3,67	6,79

ns: não-significativo.

Apesar de não apresentar diferenças significativas na produtividade da soja nesse trabalho, autores como Broch *et al.* (2011), observaram diferenças entre as diferentes fontes de

enxofre utilizadas, quando comparada a testemunha, onde a grande maioria das fontes, foram eficientes no fornecimento de S para a cultura e no aumento da produtividade.

6.2 TEORES DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E PRODUTIVIDADE DE TRIGO

Os teores de N, P, e K nas folhas de trigo em 2023 (Tabela 4) e 2024 (Tabela 5) não foram influenciadas significativamente pela aplicação dos tratamentos com diferentes fontes de S. O teor de S foliar do trigo foi significativamente maior com as aplicações de MAP + S elementar e SSP em relação ao tratamento somente com MAP em 2023 (Tabela 4) e houve clara tendência do mesmo comportamento em 2024 (Tabela 5). Esses resultados mostram que tanto o SSP como o S elementar foram fontes eficientes no fornecimento de S para as plantas.

O S é um nutriente importante para o metabolismo das plantas, sendo componente de aminoácidos, enzimas e coenzimas (EMBRAPA, 2007). De acordo com Horowitz e Meurer (2006), a adição de S elementar, embora de menor solubilidade imediata, pode ser gradualmente oxidada no solo por ação microbiana, tornando-se disponível na forma de sulfato (SO_4^{2-}), que é a forma absorvida pelas raízes.

Tabela 4. Concentrações de nutrientes nas folhas e produtividades de grãos de trigo cultivado em 2023 em função das aplicações de fontes de S.

Tratamento	N	P	K	S	Produtividade
	-----g kg ⁻¹ -----				kg ha ⁻¹
MAP	40,5	4,7	29,1	1,9 b	1756
MAP+S	39,4	4,5	28,9	2,3 a	1853
SSP	39,9	4,8	28,2	2,3 a	1846
Efeito	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)	4,24	5,51	4,28	6,70	7,56

ns: não-significativo; *P<0,05. Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste LSD a 5%.

Tabela 5. Concentrações de nutrientes nas folhas e produtividades de grãos de trigo cultivado em 2024 em função das aplicações de fontes de S.

Tratamento	N	P	K	S	Produtividade
	-----g kg ⁻¹ -----				kg ha ⁻¹
MAP	44,4	4,3	22,9	1,8	4143
MAP+S	45,3	4,3	24,8	2,1	4179
SSP	45,3	4,2	23,8	2,1	4057
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	3,01	4,08	5,98	12,04	5,21

ns: não-significativo.

As produtividades de grãos de trigo não foram influenciadas significativamente pelos tratamentos com as diferentes fontes de S, nos dois cultivos (Tabelas 4 e 5). As produtividades médias de grãos de trigo do experimento foram de 1818 e 4126 kg ha⁻¹, respectivamente, nos dois cultivos (2023 e 2024).

Em 2023, a produtividade média de grãos de trigo no Brasil foi de 2331 kg ha⁻¹. A baixa produtividade de trigo obtida no primeiro cultivo de trigo, em 2023, pode ter sido resultante do efeito das chuvas excessivas durante o ciclo, ou ainda, efeito de deriva de herbicidas utilizados para o manejo de plantas de cobertura nas áreas ao redor do experimento. Durante o pleno enchimento dos grãos, as plantas secaram repentinamente, pouco depois da dessecação das áreas nas proximidades do experimento. Em 2024, a produtividade média de grãos de trigo no Brasil foi de 3509 kg ha⁻¹ e a obtida no experimento foi 18% maior.

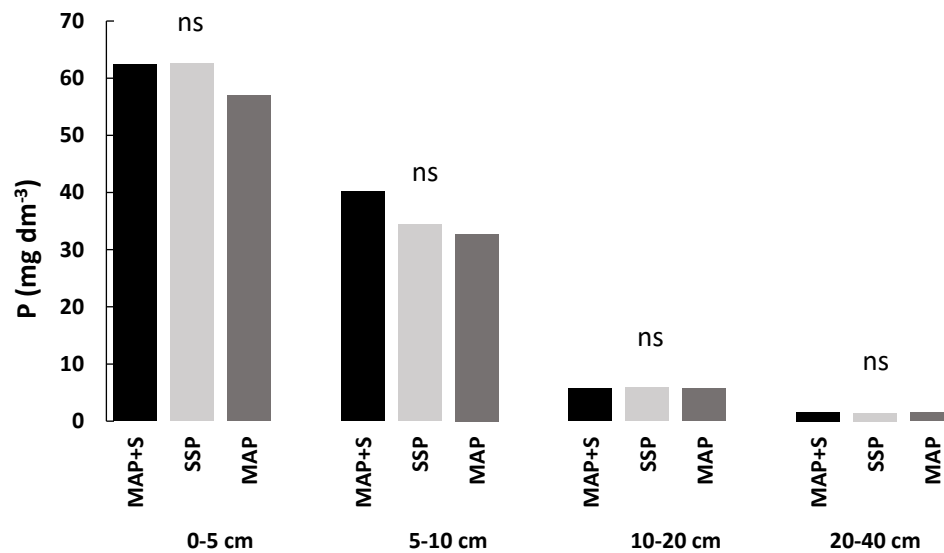
A diferença nos resultados entre as culturas, com efeito significativo no teor de S no trigo e ausência de significância na soja, pode ser explicada com base no estudo de Silva *et al.* (2003). Nesse trabalho, observou-se que o milho, assim como o trigo, uma gramínea, apresentou maior capacidade de absorção radicular de enxofre, retendo grande parte do nutriente nas raízes. Por outro lado, a soja, embora tenha absorvido menores quantidades de S, demonstrou maior eficiência na translocação do nutriente para as partes aéreas, direcionando-o mais efetivamente para a produção. Essa diferença fisiológica pode justificar a resposta diferenciada das culturas às fontes de enxofre.

6.3 TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO

Os tratamentos não ocasionaram alterações significativas no teor de P (Mehlich-1) nas diferentes profundidades do solo (Figura 2). Esse efeito era esperado, considerando que a mesma dose de P (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) foi utilizada em todos os tratamentos, em cada semeadura de soja. No entanto, observou-se redução no teor de P a partir da superfície em direção às camadas do subsolo, indicando menor disponibilidade do nutriente nas camadas subsuperficiais. Isso ocorre porque o P é um nutriente de baixa mobilidade no solo, o que limita sua disponibilidade em camadas mais profundas (Santos; Gatiboni; Kaminski, 2008). Resultados semelhantes foram reportados por Nunes *et al.* (2011) e Rheinheimer *et al.* (2003), os quais também verificaram diminuição no teor de P com o aumento da profundidade do solo em estudos de adubação fosfatada.

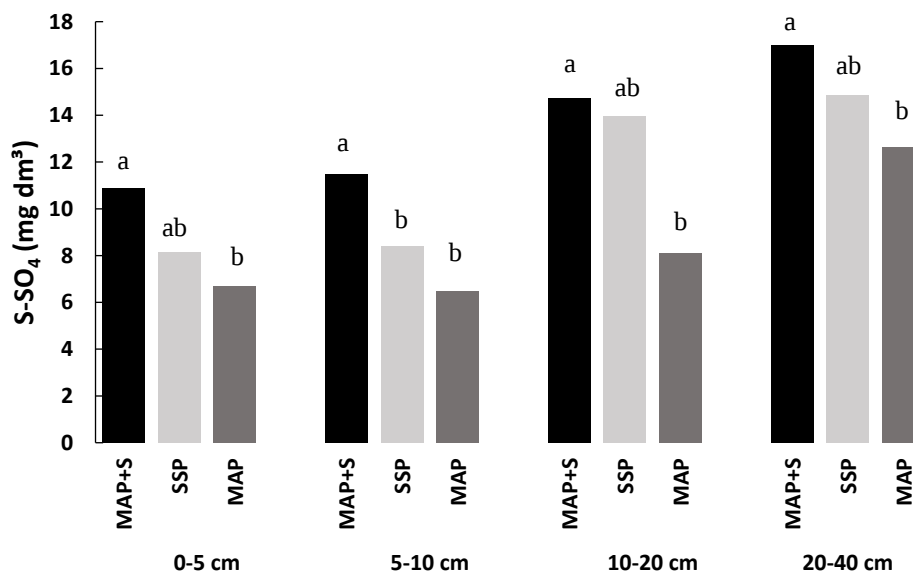
A aplicação de fertilizantes contendo S resultou em alterações significativas no teor de S-SO₄ ao longo das diferentes camadas de solo (Figura 3). O tratamento com MAP associado ao S elementar apresentou os maiores teores de S-SO₄ no perfil do solo, sem diferença estatística em relação à aplicação de SSP nas camadas de 0–5, 10–20 e 20–40 cm. Na camada de 5–10 cm, o tratamento com MAP + S elementar apresentou maior teor de S-SO₄ em relação aos tratamentos com MAP isolado e SSP (Figura 3).

Figura 2. Teor de P (Mehlich-1) no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, após a colheita do trigo em 2024, considerando as aplicações de MAP, MAP + S elementar e SSP. ns: não-significativo. Ponta Grossa-PR.



Fonte: a autora.

Figura 3. Teor de $S-SO_4$ no solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, após a colheita do trigo em 2024, considerando as aplicações de MAP, MAP + S elementar e SSP. Letras iguais dentro de cada profundidade do solo não diferem significativamente pelo teste LSD a 5%. Ponta Grossa-PR.



Fonte: a autora.

Os maiores teores de $S-SO_4$ no tratamento com MAP + S elementar (Figura 3) evidenciou a eficiência da aplicação de S elementar na disponibilização de sulfato ao longo do perfil do solo em relação ao tratamento controle com MAP. Esses resultados podem ser explicados com base na composição química dos fertilizantes utilizados e na dinâmica do S no solo. O MAP é uma fonte de P amplamente utilizada, mas não contém S em sua composição, o que justifica os menores teores observados no tratamento com aplicação exclusiva desse fertilizante. Por outro lado, o SSP continha 11% de S em sua composição, o que contribuiu para o aumento nos teores desse nutriente no solo (Reetz, 2017). O uso de S elementar (90% S) parece ter favorecido a liberação gradual de sulfato, contribuindo para uma maior uniformidade no perfil, além de apresentar maior efeito residual no solo devido a liberação lenta. Na camada de 5 a 10 cm, o tratamento com MAP + S apresentou diferenças em relação ao SSP. Esse resultado pode estar relacionado ao maior teor de matéria orgânica ou a um microclima mais favorável à atividade microbiana, que favorece a conversão do enxofre elementar em sulfato, tornando-o mais disponível para as plantas.

Nota-se ainda que os teores de $S-SO_4$ aumentaram ao longo do perfil do solo, o que pode ser atribuído à maior mobilidade do sulfato (SO_4^{2-}), favorecendo seu deslocamento para as camadas mais profundas (Castro *et al.*, 2021).

7 CONCLUSÕES

A adubação com S elementar foi eficiente no aumento dos teores de S-SO₄ no solo e de S nas folhas de trigo. As produtividades de soja e trigo não foram influenciadas significativamente pelas aplicações de MAP + S elementar e SSP.

As adubações com MAP + S elementar e SSP apresentaram eficiência semelhante na nutrição da sucessão soja-trigo em sistema plantio direto. A escolha das fontes deve ficar na dependência dos custos dos fertilizantes e de sua aplicação no solo. O uso de SSP tem a vantagem de fornecer P e S em uma única operação na semeadura, embora a dose utilizada tenha que ser mais alta por causa da baixa concentração de P em sua composição. Já, o uso de MAP tem a vantagem de apresentar concentração bem mais elevada de P em sua composição, embora necessite de complementação de mais uma operação com S elementar.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONA, F. D.; MORI, C.; WIETHÖLTER, S. Manejo nutricional da cultura do trigo. **Informações Agrônômicas**, n. 154, p. 1-16, 2016.

BROCH, D. L. *et al.* Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 791–796, 2011.

CAIRES, E. F. *et al.* Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F. *et al.* Phosphate fertilization strategies for soybean production after conversion of a degraded pastureland to a no-till cropping system. **Geoderma**, n. 308, p. 120-129, 2017.

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. **Determinação de sulfato em solos**. In: van Raij, B.; Andrade, E.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. (Ed.) *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.225–230.

CASTRO, C. de. *et al.* **Enxofre**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/manejo-da-fertilidade-do-solo/exigencias-minerais-e-adubacao/adubacao/enxofre>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

CERATTI, S. **Viabilidade técnica econômica da adubação com enxofre na cultura da soja**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural) - Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **A Cultura do Trigo**, v.1, Brasília, p.218, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Safra Brasileira de Grãos**, 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 16 set. 2024.

CRUZ, J. C. *et al.* Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.22, n.208, p.13-24, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Coleção 500 perguntas e 500 respostas: **O produtor pergunta, a EMBRAPA responde**. Brasília: EMBRAPA Trigo, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Enxofre: Nutriente necessário para maiores rendimentos da soja. **Circular Técnica**. n. 53. Londrina: EMBRAPA-Soja, 2007. 6p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Plantio Direto**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto>. Acesso em: 15 mar. 2025.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO - FEBRAPDP. 2022. **Evolução da área sob plantio direto no Brasil**. Disponível em: <<https://www.plantiodireto.org.br/>>. Acesso em 5 fev. 2025.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: O crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

FREITAS P, L. **Sistema Plantio Direto: Conceitos, Adoção e Fatores Limitantes**. Comunicado técnico 31. Rio de Janeiro. Comunicado técnico 31. p.1-9. 2005. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/855711/1/comtec31-2005-plantio-direto.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2025.

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

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2014.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, v. 36, n. 03, p. 822-828, 2006.

IAPAR. **Médias históricas em estações do IAPAR**, 2022. Disponível em: https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/mediashistoricas/Ponta_Grossa.pdf. Acesso em: 07 abr. 2025.

KORNDÖRFER, G.H.; LARA-CABEZAS, W.A.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia agrícola**, v. 56, n. 2, p. 391-396, 1999.

LOUREIRO, F. E. L.; MONTE, M. B. M.; NASCIMENTO, M. Agrominerais – fosfato. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (org.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 141–174. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1096>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

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

MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1982. 59 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; DE OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafós, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006, p. 167.

MOTTER, P.; de ALMEIDA, H. G. **Plantio Direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. 73 p.

NUNES, R. DE S. *et al.* Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 877–888, 2011.

OLIVEIRA, C. M. B. *et al.* Capacidade de predição da disponibilidade de fósforo em solo com aplicação de fosfato solúvel e natural. **Revista Científica**, v. 43, n. 4, p. 413-419, 2015.

PAVAN, M. A. *et al.* **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. p. 38.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 4, n. 2, p. 439-473, 2007.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017. 49 p.

RESENDE, A. V. DE. *et al.*, Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 453–466, 2006.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 41–49, 2003.

RHEINHEIMER, D. DOS S. *et al.* Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, p. 562-569, 2005.

ROSOLEM, C. A.; TAVARES, C. A. Sintomas de deficiência tardia de fósforo em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 385–389, 2006.

SANTOS, D. R. DOS.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576–586, 2008.

SANTOS, J. Z. L. *et al.* Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 705-714, 2008.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja: descrição dos sintomas e ilustração com fotos**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2004. (Documentos, 232). Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/445227> >. Acesso em: 17 mar. 2025.

SILVA, D. J. *et al.* Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 715-721, 2003.

SOUZA, D. J. A. *et al.* Efeito de diferentes fontes e solubilidade de fósforo no desenvolvimento e nutrição do capim Mombaça. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 3, p. 72 83, 2020.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2017. 858 p.

TAKEITI, C. Y. **Tecnologia de alimentos**. Trigo, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cereais-e-graos/trigo>>. Acesso em: 18 set. 2024.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA – U.S. **Department of Agriculture**. Washington, DC: USDA, 2023. Disponível em: <https://www.usda.gov/>. Acesso em: 18 set. 2024.

VITTI, G. C. *et al.* Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 225–229, 2007.