

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

NÁTALLY SMAHA

NUTRIÇÃO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE TRIGO E SOJA
INFLUENCIADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL E ADUBAÇÃO
POTÁSSICA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

PONTA GROSSA
2025

NÁTALLY SMAHA

NUTRIÇÃO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE TRIGO E SOJA
INFLUENCIADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL E ADUBAÇÃO
POTÁSSICA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para
obtenção de Grau 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: NUTRIÇÃO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE TRIGO E SOJA INFLUENCIADOS PELA CALAGEM SUPERFICIAL E ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.

Autor (a): NATALLY SMALHA

Data da defesa: 30/05/2025 Horário: 10:00 h Local: SALA F-40

Avaliadores:

1-Orientador (a): EDUARDO FÁVERO CAIRES

Assinatura: [Assinatura]

2-Avaliador (a): ANGELO RAFAEL BINI

Assinatura: [Assinatura]

3-Avaliador (a): REGIANE K. BECKER

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	1,5
II- Trabalho escrito (Até 6,0)	5,5	5,0	5,0
III- Arguição (Até 2,0)	0,8	1,7	1,2
TOTAL	8,1	8,5	7,7
MÉDIA FINAL *	$8,1 + 0,8 = 8,9$		

* 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, pela vida e pelas forças que me sustentaram até aqui.

Aos meus pais, pelo incentivo em cada etapa dessa jornada.

Ao meu namorado, Bruno, por ser meu companheiro de vida, por todo amor, paciência e apoio nos momentos bons e nos difíceis — sua presença fez toda a diferença nessa caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires, pela oportunidade de realizar esse projeto de pesquisa.

Aos colegas do Laboratório de Fertilidade do Solo e aos demais amigos da graduação, pela parceria e apoio ao longo dessa caminhada.

E a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

RESUMO

SMAHA, N. **Nutrição e rendimento de grãos de trigo e soja influenciados pela calagem superficial e adubação potássica 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 elevada acidez dos solos brasileiros, caracterizada pela alta concentração de alumínio trocável (Al^{3+}) e baixos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), constitui um dos principais fatores limitantes à produtividade agrícola, especialmente em sistemas de plantio direto. A aplicação superficial de calcário é uma prática consolidada para a correção da acidez, promovendo o aumento dos teores de Ca e Mg no solo. Paralelamente, a adubação potássica é indispensável, dada a baixa disponibilidade de potássio (K) em solos tropicais. Nesse contexto, a polihalita surge como uma fonte alternativa, capaz de fornecer simultaneamente K, Ca, Mg e enxofre (S). Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de cloreto de potássio (KCl), KCl + S elementar e polihalita granulada, com e sem calagem superficial, onde foram analisados os teores foliares de nutrientes de (N), fósforo (P), K, Ca, Mg e S de trigo (*Triticum Aestivum*) e soja (*Glycine max*), além da produtividade de grãos, cultivados em sistema de plantio direto. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola "Capão da Onça", em Ponta Grossa – PR, utilizando o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4×2 , com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância com o auxílio do software SISVAR e as médias comparadas pelo teste de LSD ($p < 0,05$). A calagem promoveu incremento nos teores foliares de P, K e Mg no trigo, e de Ca e Mg na soja, além de reduzir o teor de K nas folhas de soja. A adubação potássica elevou as concentrações foliares de K nas duas culturas, de S no trigo, e reduziu os teores de Ca e Mg em ambas. Na cultura do trigo, os maiores incrementos de produtividade foram observados com polihalita (até 42%), com respostas associadas ao suprimento de K e S. Na soja, os aumentos foram mais expressivos com KCl e polihalita, destacando-se o papel do K. A aplicação de KCl + S elementar, na ausência de calagem, resultou em redução significativa na produtividade de ambas as culturas, atribuída à intensificação da acidificação do solo.

Palavras-chave: Calcário dolomítico, potássio, polihalita, *Triticum aestivum*, *Glycine max*.

ABSTRACT

SMAHA, N. **Nutrition and yield of wheat and soybean grains influenced by surface liming and potassium fertilization in a no-tillage system.** Advisor: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires. Ponta Grossa, 2025. Undergraduate Thesis – Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2025.

The high acidity of Brazilian soils, characterized by the high concentration of exchangeable aluminum (Al^{3+}) and low levels of calcium (Ca) and magnesium (Mg), represents one of the main limiting factors to agricultural productivity, especially under no-tillage systems. Surface liming is a well-established practice for correcting soil acidity, promoting an increase in Ca and Mg levels in the soil. In parallel, potassium fertilization is essential due to the low availability of potassium (K) in tropical soils. In this context, polyhalite emerges as an alternative source, capable of simultaneously supplying K, Ca, Mg, and sulfur (S). Therefore, this study aimed to evaluate the effects of applying potassium chloride (KCl), KCl combined with elemental S, and granulated polyhalite, with and without surface liming, on the leaf nutrient contents of nitrogen (N), phosphorus (P), K, Ca, Mg, and S in wheat (*Triticum aestivum*) and soybean (*Glycine max*), as well as on grain yield, under a no-tillage system. The experiment was conducted at the “Capão da Onça” School Farm, in Ponta Grossa – PR, Brazil, using a randomized block design in a 4×2 factorial scheme with four replications. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SISVAR software, and treatment means were compared using the LSD test ($p < 0.05$). Surface liming increased leaf contents of P, K, and Mg in wheat, and Ca and Mg in soybean, while reducing K content in soybean leaves. Potassium fertilization increased leaf K concentrations in both crops, as well as S in wheat, and reduced Ca and Mg levels in both crops. For wheat, the highest yield increases were observed with polyhalite (up to 42%), with responses associated with the supply of K and S. In soybean, yield increases were more pronounced with KCl and polyhalite, highlighting the key role of K. The application of KCl + elemental S, in the absence of liming, resulted in a significant reduction in the yield of both crops, attributed to the intensification of soil acidification.

Keywords: Dolomitic lime, potassium, polyhalite, *Triticum aestivum*, *Glycine max*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Dados de precipitação pluvial mensal na região de Ponta Grossa – PR, durante o período no qual a cultura do trigo e soja estiveram no campo. Estação Meteorológica localizada a cerca de 730 metros do experimento. 15
- Figura 2 – Produtividade de grãos de trigo em função das aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita, sem e com aplicação superficial de calcário, em sistema plantio direto. Safra 2022. Ponta Grossa – PR. Letras maiúsculas iguais não apresentam diferenças entre calagem dentro de adubação e letras minúsculas iguais não apresentam diferenças entre adubação dentro de calagem, pelo teste de LSD a 5%. 20
- Figura 3 – Produtividade de grãos de soja em função das aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita, sem e com aplicação superficial de calcário, em sistema plantio direto. Safra 2022/2023. Ponta Grossa – PR. Letras maiúsculas iguais não apresentam diferenças entre calagem dentro de adubação e letras minúsculas iguais não apresentam diferenças entre adubação dentro de calagem, pelo teste de LSD a 5%. 23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados de análises químicas de solo, na camada 0-20 cm, antes da instalação do experimento.	16
Tabela 2 – Concentrações de nutrientes nas folhas de trigo em função da calagem superficial e das aplicações de cloreto de potássio (KCl), KCl + enxofre (S) elementar e polihalita granulada em sistema de plantio direto.	18
Tabela 3 – Concentrações de nutrientes nas folhas de soja em função da calagem superficial e das aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita granulada em sistema de plantio direto.	21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	SISTEMA PLANTIO DIRETO	9
2.2	ACIDEZ DO SOLO E CALAGEM	10
2.3	ADUBAÇÃO POTÁSSICA	10
2.4	CULTURA DO TRIGO	11
2.5	CULTURA DA SOJA	12
3	OBJETIVOS	13
4	HIPÓTESE	14
5	MATERIAL E MÉTODOS	15
5.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E HISTÓRICO DA ÁREA	15
5.2	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	15
5.3	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	16
5.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	16
5.5	AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO TECIDO FOLIAR.....	17
5.6	COLHEITA E ANÁLISE DO RENDIMENTO DE GRÃOS.....	17
5.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	17
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6.1	CULTURA DO TRIGO	18
6.1.1	Teores de Nutrientes nas Folhas de Trigo.....	18
6.1.2	Rendimento de Grãos de Trigo.....	19
6.2	CULTURA DA SOJA	20
6.2.1	Teores de Nutrientes nas Folhas de Soja	20
6.2.2	Rendimento de Grãos de Soja	22
7	CONCLUSÕES	24
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
	ANEXO A – COMPROVANTES DE PARTICIPAÇÃO EM EVENTO TÉCNICO CIENTÍFICO	28

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira tem se consolidado como uma das mais produtivas do mundo, especialmente na produção de cereais e soja, culturas que se beneficiam diretamente do avanço tecnológico e do manejo eficiente do solo. No entanto, a maioria dos solos brasileiros apresenta alta acidez e baixa fertilidade natural, o que impõe limitações à produtividade das lavouras. Em especial, a acidez do solo está associada com a toxidez de alumínio (Al^{3+}) e a deficiência de nutrientes como cálcio (Ca) e magnésio (Mg), os quais comprometem o crescimento das plantas e o aproveitamento dos fertilizantes minerais.

A calagem é uma prática fundamental para corrigir a acidez do solo, promovendo a elevação do pH e a redução da atividade do Al^{3+} , além de fornecer Ca e Mg às plantas. No sistema plantio direto, amplamente adotado no Brasil, o calcário é aplicado sobre a superfície do solo, sem incorporação. Embora a reação do corretivo seja mais lenta nesse sistema, estudos demonstram que, ao longo do tempo, a calagem superficial apresenta eficiência na correção da acidez do solo, favorecendo a nutrição das culturas e elevando os rendimentos das culturas.

Paralelamente, a adubação potássica tem assumido papel estratégico no aumento da produtividade agrícola nacional. Os solos brasileiros são, em sua maioria, pobres em potássio (K), exigindo aplicações frequentes de fertilizantes potássicos. O cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte utilizada na agricultura, devido ao seu alto teor de K e ampla disponibilidade no mercado. Contudo, seu uso contínuo e isolado pode levar à necessidade de complementação com outras fontes de nutrientes, além de apresentar limitações em solos com acidez elevada porque a eficiência da absorção de nutrientes pode ser comprometida.

O interesse por fontes alternativas de K que aliem eficiência agrônômica e fornecimento de múltiplos nutrientes é crescente na agricultura. A polihalita é um mineral natural que tem ganhado destaque. Como a polihalita além de K, contém também Ca, Mg e enxofre (S) em sua composição, é possível que a sua utilização como fonte potássica possa substituir o uso de calcário, KCl e S elementar em sistema plantio direto.

O presente estudo teve o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de KCl, KCl + S elementar e polihalita granulada, com e sem calagem superficial, nos teores foliares de nutrientes e nas produtividades de grãos de trigo e soja em sistema plantio direto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA PLANTIO DIRETO

O sistema plantio direto teve início no Brasil na década de 1970, especialmente na região Sul, com o propósito de combater a erosão do solo e mitigar os impactos ambientais causados pelo cultivo convencional. Na época, a prática da sucessão trigo-soja, associada ao uso do fogo para eliminar os resíduos da cultura anterior e viabilizar o plantio da soja, gerava sérios danos. Essa estratégia, aliada ao uso frequente de arações e gradagens, agravava os problemas de erosão, dificultava a infiltração da água e intensificava o escoamento superficial, resultando na perda de nutrientes e na diminuição da produtividade das lavouras. Em algumas áreas, a situação era tão crítica que a erosão chegava a comprometer estradas próximas às plantações (Silva *et al.*, 2009).

De acordo com a FEBRAPDP (2008), a adoção do sistema plantio direto proporcionou diversos benefícios ambientais, entre os quais se destacam a expressiva redução na contaminação dos recursos hídricos, a promoção da estabilidade ecológica local e a alteração na composição da fauna e da flora, favorecendo o equilíbrio entre organismos benéficos e prejudiciais à produção agrícola. Estudos apontam que o sistema plantio direto ocasiona redução na emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (Bernoux *et al.*, 2006; Estevam *et al.*, 2022). Outro aspecto relevante é a capacidade do plantio direto de capturar carbono atmosférico e incorporá-lo ao solo, o que contribui para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais, bem como para a proteção de mananciais e reservatórios de água (Bernoux *et al.*, 2006; Carvalho *et al.*, 2009).

O sistema plantio direto no Brasil passou de cerca de 1 milhão de hectares em 1980 para mais de 32 milhões de hectares em 2020, evidenciando um crescimento expressivo impulsionado, principalmente, pelos benefícios relacionados à conservação do solo e ao aumento da matéria orgânica (Calegari *et al.*, 2022). Outro benefício relevante da cobertura do solo no sistema plantio direto é a diminuição da evaporação da água, o que contribui para manter a umidade nas camadas mais superficiais do solo. Essa condição favorece a absorção de nutrientes pelas plantas, mesmo em ambientes com limitações, como solos com elevada acidez (Caires; Fonseca, 2000). O sistema plantio direto com rotação diversificada de culturas tem sido considerado uma das estratégias mais eficazes para promover a sustentabilidade da agricultura e minimizar perdas de solo e nutrientes por erosão em regiões tropicais e subtropicais (Lal *et al.*, 1995; Hobbs; Sayre, Gupta, 2008).

2.2 ACIDEZ DO SOLO E CALAGEM

A maioria dos solos brasileiros apresenta alta acidez. A acidez dos solos limita a produção agrícola em consideráveis áreas do Brasil. A deficiência de Ca e a toxidez causada por Al são os fatores que mais têm causado limitação na produtividade das culturas em solos ácidos de regiões tropicais e subtropicais (Coleman; Thomas, 1967). Em solos com pH baixo, a elevada concentração de íons de hidrogênio (H^+) promove a liberação de íons Al^{3+} que, em níveis elevados, tornam-se tóxico para as plantas (Malavolta, 1980). A toxicidade de Al^{3+} é um dos principais fatores que compromete o desempenho das plantas em solos ácidos, interferindo nos processos metabólicos essenciais (Echart; Cavalli-Molina, 2001).

A reação do calcário está diretamente relacionada à sua granulometria e ao sistema de manejo adotado. Partículas menores apresentam maior área de contato com o solo, acelerando a neutralização da acidez e a disponibilidade de Ca e Mg. Além disso, calcários com maior poder relativo de neutralização total (PRNT) apresentam maior eficiência na correção do pH e na saturação por bases, garantindo resposta mais rápida (Gonçalves *et al.*, 2011). No sistema plantio direto, o calcário é aplicado sobre a superfície do solo, sem incorporação. A correção da acidez, nesse caso, demanda maior tempo de reação para alcançar maior efeito ao longo do perfil do solo (Caires *et al.*, 2005).

A aplicação de calcário melhora significativamente a fertilidade do solo, aumenta o conteúdo de carbono e reduz de forma expressiva o nível de Al^{3+} trocável (Inagaki *et al.*, 2016). Caires *et al.* (1999) observaram que a aplicação de calcário na superfície, sem incorporação, em sistema de plantio direto, promoveu melhorias nas características químicas do solo ao longo do tempo. Em outro estudo, Costa *et al.* (2016) relataram que a calagem superficial em solos tropicais sob plantio direto reduziu a acidez do solo, elevou os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, melhorou a nutrição das plantas e aumentou a produtividade de grãos.

2.3 ADUBAÇÃO POTÁSSICA

O consumo de fertilizantes no Brasil cresceu de 24,5 milhões de toneladas em 2010 para 35,5 milhões em 2018, com destaque para o uso de potássio (K), o qual aumentou de 3,4 para 5,6 milhões de toneladas no mesmo período. Esse aumento reflete a demanda por altas quantidades de fertilizantes potássicos para garantir os constantes incrementos na produtividade agrícola brasileira (FAO, 2021).

Os solos brasileiros, geralmente, apresentam baixos teores de K, em grande parte devido à sua forma solúvel que é absorvida pelas plantas e também lixiviada no perfil do solo.

Como o K é um dos macronutrientes mais absorvidos pelas plantas, altos rendimentos agrícolas dependem da aplicação de fertilizantes potássicos (Kinpara, 2003). Na planta, o K desempenha papel importante na regulação do potencial osmótico das células vegetais e ativa enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese (Taiz *et al.*, 2017)

O KCl é a principal fonte potássica utilizada na agricultura brasileira e mundial. A polihalita ($K_2SO_4.MgSO_4.2CaSO_4.2H_2O$) tem surgido como uma fonte alternativa natural, contendo não apenas K (14% de K_2O), mas também Ca (12%), Mg (3,6%) e S (19%) em sua composição. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) aprovou o uso de polihalita no Brasil em 2015 (Vale; Sério, 2017). Com a recente descoberta e exploração de mais de 2,5 bilhões de toneladas de polihalita no Reino Unido – o maior depósito conhecido no mundo (Kemp *et al.*, 2016), o domínio quase exclusivo do KCl na agricultura brasileira pode ser modificado, indicando uma possível diversificação no uso de fertilizantes potássicos no futuro.

2.4 CULTURA DO TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal de inverno originário da Ásia, onde arqueólogos encontraram grãos datados de mais de 6 mil anos na região considerada seu centro de origem. Sua domesticação, ocorrida há cerca de 10 mil anos, desempenhou um papel importante na transição do nomadismo para o estabelecimento de sociedades organizadas. No Paraná, o cultivo ganhou força a partir da década de 1970, impulsionado por políticas governamentais de incentivo da produção de cereais (EMBRAPA, 2016).

Em 2022, a produção mundial de trigo alcançou aproximadamente 778 milhões de toneladas, destacando-se como um dos principais grãos da economia agrícola global (FAO, 2023). Segundo o “*United States Department of Agriculture*” (USDA), na safra 2022/2023, a área plantada com trigo no mundo foi estimada em cerca de 221 milhões de hectares, com destaque para os principais produtores globais: China, União Europeia, Índia, Rússia e Estados Unidos da América (EUA).

No Brasil, a produção de trigo tem apresentado crescimento nos últimos anos, impulsionado por avanços tecnológicos e pela expansão das áreas de cultivo. Em 2022, o país registrou um recorde histórico, com produção de 10,5 milhões de toneladas em uma área plantada de aproximadamente 3,1 milhões de hectares. O rendimento médio das lavouras foi de $3,4 \text{ t ha}^{-1}$. A região Sul do Brasil se consolidou como a principal produtora do cereal no país, respondendo por cerca de 90% da produção nacional (CONAB, 2023).

No Estado do Paraná, o trigo representa a principal opção para a safra de inverno. Sua inclusão no sistema de rotação de culturas é essencial para diversificar a produção, proporcionando benefícios como cobertura do solo com palhada e maior rentabilidade ao produtor (IDR-PR, 2021). Em 2022, o Paraná colheu 3,5 milhões de toneladas do cereal em uma área de 1,2 milhão de hectares (CONAB, 2023).

2.5 CULTURA DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma leguminosa originária da China, cuja domesticação remonta ao século XI a.C. No Brasil, foi introduzida em 1882, no Estado da Bahia, mas sua expansão como cultura agrícola relevante ocorreu apenas na década de 1970, especialmente na região Sul (Bonato *et al.*, 1987). Entre os estados produtores, o Paraná se destacou ao iniciar o cultivo da soja na década de 1960 e, até o final dos anos 1990, foi líder nacional em área plantada e volume produzido, representando 21% da soja colhida no Brasil em 2010 (Sousa; Pereira; Silva, 2011).

Atualmente, o Brasil está entre os maiores produtores mundiais de soja, ao lado dos EUA. Na safra 2022/2023, a cultura ocupou uma área de 44 milhões de hectares, resultando em uma produção total estimada de 155 milhões de toneladas. Entre os estados produtores, Mato Grosso e Paraná destacam-se como os principais responsáveis pelo volume colhido no país. No Paraná, a safra de 2023 registrou uma produção de 22 milhões de toneladas em uma área de 5,7 milhões de hectares, com uma produtividade média de 3,8 t ha⁻¹ (CONAB, 2023).

3 OBJETIVOS

Avaliar os efeitos da aplicação de KCl, KCl + S elementar e polihalita granulada, com e sem calagem superficial, nos teores foliares de nutrientes e nas produtividades de grãos de trigo e soja em sistema plantio direto.

Verificar a viabilidade da utilização de polihalita granulada como alternativa ao uso de KCl e S elementar na cultura de trigo e soja, sem e com a aplicação superficial de calcário dolomítico, em sistema plantio direto.

4 HIPÓTESE

A adubação com polihalita granulada pode substituir a aplicação superficial de calcário e a adubação com KCl e S elementar para a produção de trigo e soja em sistema plantio direto.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E HISTÓRICO DA ÁREA

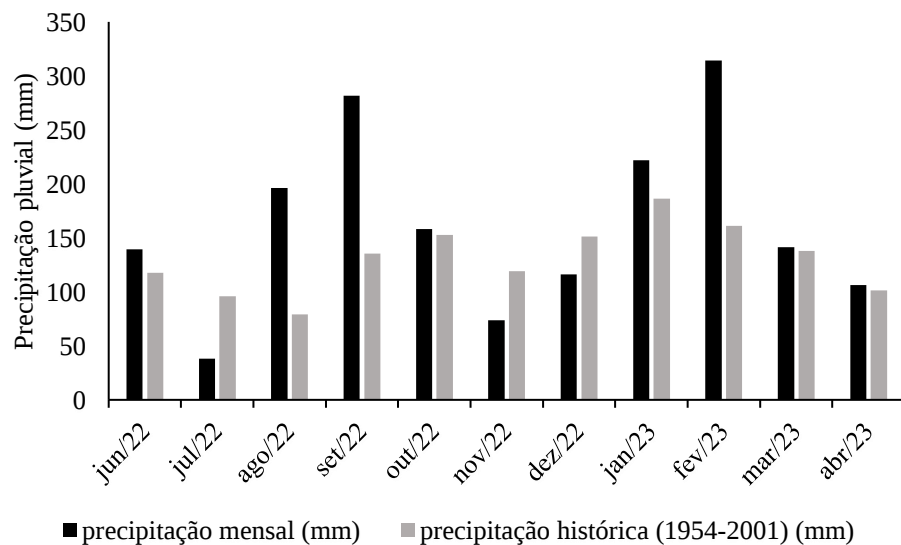
O experimento foi realizado no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, na Fazenda Escola “Capão da Onça” da Universidade Estadual de Ponta Grossa (25° 05’ 33’ S e 50° 02’ 53’ W), com altitude de 992 m.

No período de 2019 a 2023, foram realizados dois ciclos da sequência aveia preta-milho-trigo-soja na área experimental. Anteriormente a essa sucessão, a cultura semeada foi o milho. O presente estudo foi conduzido utilizando as duas últimas culturas da sequência, trigo, na safra de 2022, e soja, na safra de 2022/2023, ambas cultivadas em sucessão na mesma área experimental.

5.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007), o clima da região é classificado como Cfb (subtropical úmido mesotérmico). Os dados de precipitação pluvial ocorridos no decorrer deste estudo (06/2022 a 04/2023) estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Dados de precipitação pluvial mensal na região de Ponta Grossa – PR, durante o período no qual as culturas de trigo e soja estiveram no campo.



Fonte: Estação Meteorológica da BASF, localizada na Fazenda Escola Capão da Onça da UEPG, Ponta Grossa – PR, 2024. Dados históricos de precipitação pluvial média (1954 a 2001) obtidos na estação meteorológica do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR, 2022).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho textura média (Santos *et al.*, 2018) sob sistema plantio direto. Os resultados de análises químicas do solo (Pavan *et al.*, 1992), na camada de 0–20 cm, realizadas antes da instalação do experimento, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de análises químicas de solo, na camada 0-20 cm, antes da instalação do experimento.

pH ¹	H + Al ²	Al	Ca	Mg	K	CTC ³	V ⁴	S-SO ₄ ⁵	P ⁶
	----- cmol _c dm ⁻³ -----						%	--- mg dm ⁻³ ---	
4,4	6,34	0,8	1,5	0,4	0,11	8,35	24	6,5	15,2

¹pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. ²Acidez potencial. ³Capacidade de troca catiônica a pH 7,0. ⁴Saturação por bases do solo. ⁵S-SO₄ extraído com fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹. ⁶P extraído com Mehlich-1.

5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental empregado foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial 4 × 2, com quatro repetições. As parcelas tinham 8 m × 6 m (48 m²). Os tratamentos consistiram em um controle e de aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita granulada, com e sem aplicação superficial de calcário dolomítico (308 g kg⁻¹ de CaO e 217 g kg⁻¹ de MgO).

No tratamento com calagem, o calcário foi aplicado superficialmente no solo no início do desenvolvimento da aveia preta em 2019, em dose calculada para elevar a saturação por bases do solo (0–20 cm) a 70% (Caires *et al.*, 2005). No período de 2019 a 2023, foram realizados dois ciclos de aveia preta-milho-trigo-soja. O presente estudo foi realizado com as duas últimas culturas de trigo, em 2022, e soja, em 2022/2023.

As aplicações dos fertilizantes potássicos foram realizadas nas doses de 60 kg ha⁻¹ de K₂O para a cultura do trigo e 120 kg ha⁻¹ de K₂O para a cultura da soja, sendo os fertilizantes aplicados a lanço, na superfície do solo, imediatamente antes da semeadura de cada cultura. As fontes utilizadas foram cloreto de potássio (KCl) e polihalita granulada. No tratamento que combinou KCl + S elementar, a dose de enxofre (S) elementar foi calculada de forma a ser equivalente à quantidade de S fornecida pela dose de polihalita aplicada, garantindo assim equilíbrio na comparação entre as fontes quanto ao fornecimento desse nutriente. Para a sucessão trigo-soja, foram aplicados 250 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP, 11–52–00) durante a semeadura do trigo. O trigo, cultivar TBio Ponteiro, foi semeado em 24 de junho de 2022, na densidade de 150 kg ha⁻¹ de sementes e espaçamento de 0,17 m entre linhas. No início do perfilhamento do trigo, foi realizada a aplicação em cobertura de 100 kg ha⁻¹ de N

na forma de ureia. A adubação fosfatada foi planejada para suprir a demanda de P da sucessão trigo-soja. A soja, cultivar NS 5445 IPRO, foi semeada em 25 de novembro de 2022, na densidade de 15 sementes m^{-1} (inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*) e espaçamento de 0,45 m entre linhas, sem a adição de N e P.

5.5 AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO TECIDO FOLIAR

Durante o florescimento das culturas de trigo e soja, foram coletadas 30 folhas por parcela para análise dos teores de nutrientes. No trigo, foi retirada a folha-bandeira em 30 de setembro de 2022, enquanto, na soja, coletou-se o terceiro trifólio a partir do ápice das plantas, em 29 de janeiro de 2023. As amostras foram lavadas com água deionizada, secas em estufa a 60°C com circulação forçada de ar até massa constante e, posteriormente, moídas. Os teores de N, P, K, Ca, Mg e S foram determinadas conforme os métodos descritos por Malavolta *et al.* (1997).

5.6 COLHEITA E ANÁLISE DO RENDIMENTO DE GRÃOS

Após a maturidade fisiológica das culturas, foi realizada a colheita mecanizada do trigo e da soja com o auxílio de uma máquina colhedora de parcelas. Para avaliação da produtividade de grãos de trigo, a área colhida em cada parcela foi de 12 m^2 . Para avaliação da produtividade de grãos de soja foi colhida uma área de 14,4 m^2 em cada parcela. A colheita do trigo ocorreu em 21 de novembro de 2022 e a da soja em 11 de abril de 2023. A porção colhida foi pesada e a umidade dos grãos foi corrigida para 130 $g\ kg^{-1}$ de água.

5.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA), seguindo o delineamento em blocos ao acaso no esquema fatorial 4×2 , com o auxílio do software SISVAR. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de LSD, adotando-se o nível de significância de 5%.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CULTURA DO TRIGO

6.1.1 Teores de Nutrientes nas Folhas de Trigo

A aplicação superficial de calcário promoveu aumento significativo nos teores de P, K e Mg nas folhas de trigo (Tabela 2). O aumento de P e K nas folhas pode estar relacionado com a maior disponibilidade de P e K no solo devido ao aumento no pH do solo com a calagem. Como foi utilizado calcário dolomítico, o aumento na disponibilidade de Mg trocável no solo certamente aumentou o teor de Mg nas folhas. Caires *et al.* (1999) também observaram aumento na concentração de Mg nas folhas de trigo com a aplicação superficial de calcário dolomítico. Os teores de N, Ca e S nas folhas de trigo não foram influenciados de forma significativa pela calagem.

Tabela 2 – Concentrações de nutrientes nas folhas de trigo em função da calagem superficial e das aplicações de cloreto de potássio (KCl), KCl + enxofre (S) elementar e polihalita granulada em sistema de plantio direto.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
Calagem						
Sem calcário	38,8	4,4b	21,2b	6,0	2,2b	2,4
Com calcário	39,5	4,8a	22,4a	6,0	2,6a	2,3
Adubação						
Controle	37,7b	4,2	17,1b	8,3a	2,8a	2,1b
KCl	39,8a	4,9	23,0a	5,4b	2,4b	2,1b
KCl + S	39,8a	4,5	23,7a	4,9b	2,0c	2,5a
Polihalita	39,2ab	4,8	23,3a	5,3b	2,5b	2,7a
P > F						
Calagem (C)	0,223	0,011	0,030	0,976	<0,001	0,625
Adubação (A)	0,049	0,074	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C × A	0,598	0,481	0,229	0,535	0,058	0,474
C.V. (%)	4,0	5,7	7,6	14,22	10,18	11,1

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de LSD a 5%.

Fonte: O autor.

Os teores de N, K, Ca, Mg e S nas folhas de trigo foram influenciadas significativamente pelos tratamentos de adubação (Tabela 2). O teor foliar de N foi maior com as aplicações de KCl e KCl + S elementar em comparação com o controle. As aplicações de KCl, KCl + S e polihalita aumentaram a concentração de K e reduziram a concentração de Ca nas folhas de trigo nas folhas do trigo em relação ao tratamento controle. O teor de Mg nas folhas de trigo foi maior no tratamento controle em comparação com os outros tratamentos com adubação potássica, e ainda mais baixa no tratamento com KCl + S elementar. Notadamente, o suprimento de K pela adubação potássica deprimiu as concentrações de Ca e Mg nas folhas de trigo. A redução de Ca e Mg nas folhas de trigo foi ocasionada pelo aumento no teor foliar de K, a partir das fontes potássicas aplicadas, devido ao efeito de substituição de Ca e Mg por K, ou seja, em consequência do desequilíbrio nutricional de cátions na planta (Caires *et al.*, 2002). A concentração de S foi significativamente maior nos tratamentos com polihalita e KCl + S elementar em relação ao tratamento controle e com apenas KCl, resultado que está relacionado com a presença de S nos fertilizantes.

6.1.2 Rendimento de Grãos de Trigo

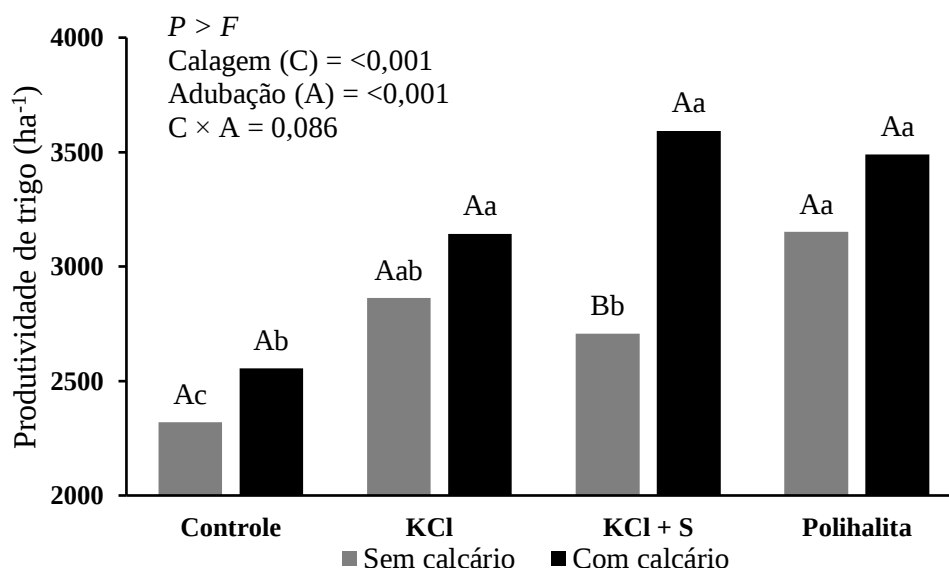
Houve influência da interação entre os tratamentos de calagem e adubação na produtividade de trigo a $P = 0,086$ (Figura 2). Nas parcelas sem calcário, a maior produtividade de trigo foi obtida com a aplicação de polihalita, embora não tenha ocorrido diferença significativa entre as aplicações de polihalita e KCl. Resultado semelhante foi verificado na cultura da cana-de-açúcar, tendo-se observado desempenho equivalente de ambos os fertilizantes na produtividade e na qualidade da cana (Pavinato *et al.*, 2020). A aplicação de S elementar em combinação com o KCl, na ausência de calagem, resultou em redução no rendimento de grãos de trigo, decorrente da acidificação do solo promovida pela adição de S elementar.

Em comparação com o tratamento controle, os aumentos na produtividade de trigo foram de 28% com KCl, 20% com KCl + S elementar e 42% com polihalita nas parcelas sem calagem, e de 25% com KCl, 42% com KCl + S elementar e 38% com polihalita nas parcelas com calagem. A resposta da produtividade de trigo aos tratamentos com fertilizantes parece ter sido influenciada principalmente pelo fornecimento de K e S. A aplicação de KCl + S elementar, nas condições sem calagem, comprometeu a produtividade de trigo devido à intensificação da acidificação do solo provocada pela oxidação do S elementar.

Nas parcelas com calcário, as aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita proporcionaram maiores produtividades de trigo em relação ao tratamento controle (Figura 2).

Os maiores tetos de rendimento de grãos de trigo nas parcelas com calagem foram obtidos com as aplicações de KCl + S elementar e polihalita. Na média dos tratamentos, tanto a calagem como a adubação com KCl ou polihalita ocasionaram incrementos expressivos na produtividade de grãos de trigo, evidenciando o efeito positivo do manejo adequado da acidez do solo aliado ao suprimento de potássio e enxofre.

Figura 2 – Produtividade de grãos de trigo em função das aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita, sem e com aplicação superficial de calcário, em sistema plantio direto. Safra 2022. Ponta Grossa – PR. Letras maiúsculas iguais não apresentam diferenças entre calagem dentro de adubação e letras minúsculas iguais não apresentam diferenças entre adubação dentro de calagem, pelo teste de LSD a 5%.



Fonte: O autor.

6.2 CULTURA DA SOJA

6.2.1 Teores de Nutrientes nas Folhas de Soja

A aplicação superficial de calcário aumentou as concentrações de Ca e Mg, e reduziu a concentração de K nas folhas de soja (Tabela 3). Por causa do balanço catiônico na folha, a redução na concentração de K pode ter sido causada pelo aumento nas concentrações de Ca e Mg devido ao uso de calcário dolomítico. O teor de N nas folhas de soja foi significativamente influenciado pela interação entre os tratamentos de calagem superficial × adubação. O desdobramento desta interação revelou que, nas parcelas sem calcário, não houve influência significativa dos tratamentos de adubação na concentração de N nas folhas de soja. Entretanto, nas parcelas com calcário, as aplicações de KCl + S elementar (61,9 g N kg⁻¹) e polihalita (59,8 g N kg⁻¹) proporcionaram concentrações de N mais altas do que a aplicação de KCl (52,1 g N kg⁻¹) e o tratamento controle (51,5 g N kg⁻¹). Portanto, nas parcelas com

calcário, o suprimento de S via S elementar e polihalita pode ter favorecido a nutrição de N na soja.

Tabela 3 – Concentrações de nutrientes nas folhas de soja em função da calagem superficial e das aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita granulada em sistema de plantio direto.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
Calagem						
Sem calcário	56,6	5,9	27,0a	8,0b	2,6b	3,5
Com calcário	56,4	6,0	25,6b	9,2a	2,8a	3,5
Adubação						
Controle	55,2	6,0	19,1b	10,4a	3,2a	3,3
KCl	54,4	5,9	27,7a	8,4b	2,6b	3,2
KCl + S	59,0	5,8	30,1a	7,4c	2,5b	3,7
Polihalita	57,2	6,2	28,4a	8,1b	2,7b	3,8
<i>P > F</i>						
Calagem (C)	0,897	0,833	0,034	<0,001	0,003	0,953
Adubação (A)	0,279	0,160	<0,001	<0,001	<0,001	0,242
C × A	0,026	0,121	0,576	0,041	0,157	0,260
C.V. (%)	8,8	6,5	6,7	12,5	6,4	19,5

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de LSD a 5%.

Fonte: O autor.

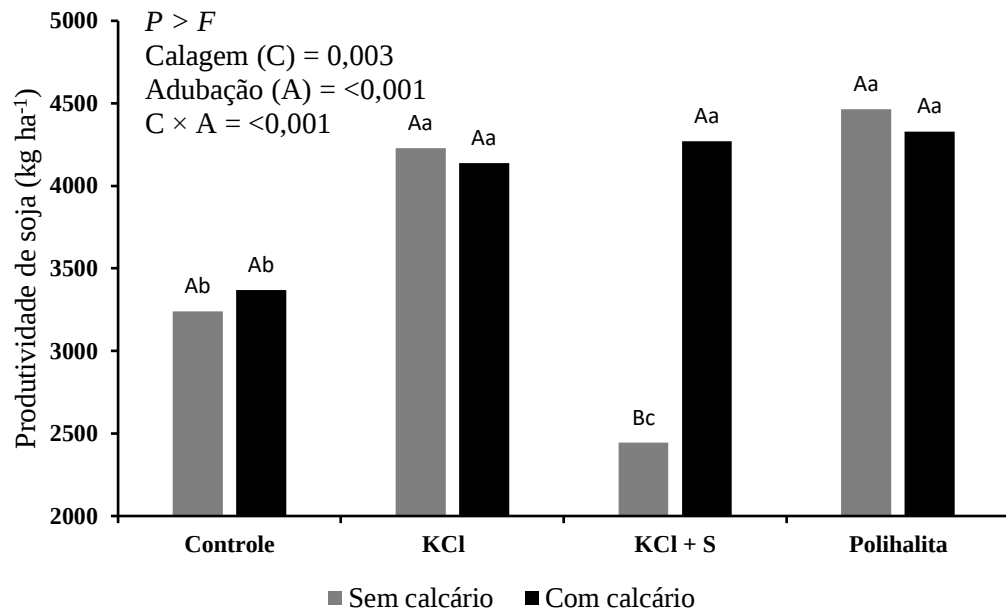
Todos os tratamentos com aplicação de K (KCl, KCl + S elementar e polihalita) aumentaram o teor de K e reduziram os teores de Ca e Mg nas folhas de soja. O maior incremento no teor foliar de K e a maior redução no teor foliar de Ca foram obtidos com a aplicação de KCl + S elementar. No entanto, o desdobramento da interação entre os tratamentos de calagem superficial × adubação para o teor foliar de Ca revelou que a concentração de Ca nas folhas de soja foi mais baixa no tratamento com KCl + S elementar (7,5 g Ca kg⁻¹) em comparação com KCl (9,2 Ca kg⁻¹) e polihalita (8,5 Ca kg⁻¹) somente nas parcelas com calcário. Nas parcelas sem calcário, todos os tratamentos com aplicação de K proporcionaram menor concentração foliar de Ca do que o tratamento controle. Todos os tratamentos com adubação potássica reduziram de forma semelhante a concentração de Mg nas folhas de soja. A redução nas concentrações foliares de Ca e Mg foi uma consequência do

aumento na concentração foliar de K na soja, causada pela adubação potássica. O teor de S nas folhas de soja não foi significativamente influenciado pelos tratamentos de calagem superficial e adubação potássica. Em um estudo realizado por Moreira *et al.* (2001) também não foram observados efeitos significativos da calagem superficial nas concentrações foliares de N, P e S na cultura da soja. De forma semelhante, Caires *et al.* (1998) constataram que a aplicação superficial de calcário não influenciou os teores foliares de N e S em soja.

6.2.2 Rendimento de Grãos de Soja

A produtividade de soja foi influenciada significativamente pela interação dos tratamentos de calagem superficial $\times$ adubação (Figura 3). Nas parcelas sem calcário, a mais baixa produtividade de soja foi obtida no tratamento com KCl + S elementar, em função da acidificação ocasionada pela oxidação do S elementar. As maiores produtividades de soja, nas parcelas sem calagem, foram observadas com as aplicações de KCl e polihalita, indicando a importância do suprimento de potássio. Em comparação com o tratamento controle, os aumentos na produtividade de grãos de soja foram de 32% e 36% com as aplicações de KCl e polihalita, respectivamente, e houve uma redução de 27% com a aplicação de KCl + S elementar nas parcelas sem calagem, reforçando o efeito negativo da acidificação do solo na ausência de correção da acidez. Nas parcelas com calcário, as aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita proporcionaram incrementos na produtividade de grãos de 24%, 26% e 28%, respectivamente, em relação ao tratamento controle, demonstrando a eficiência da calagem na mitigação dos efeitos negativos da acidez do solo. Foi bastante marcante a resposta da soja à calagem, especialmente no tratamento com KCl + S elementar, que, sem a correção da acidez, resultou em severa redução da produtividade. A resposta da produtividade de grãos de soja aos tratamentos com fertilizantes parece ter sido influenciada principalmente pelo fornecimento de K, mas não pelo suprimento de S. A calagem superficial, portanto, mostra-se fundamental para garantir maiores produtividades, uma vez que corrige a acidez nas camadas superficiais, favorecendo a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas (Caires; Banzatto; Fonseca, 2000).

Figura 3 – Produtividade de grãos de soja em função das aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita, sem e com aplicação superficial de calcário, em sistema plantio direto. Safra 2022/2023. Ponta Grossa – PR. Letras maiúsculas iguais não apresentam diferenças entre calagem dentro de adubação e letras minúsculas iguais não apresentam diferenças entre adubação dentro de calagem, pelo teste de LSD a 5%.



Fonte: O autor.

7 CONCLUSÕES

A calagem superficial com calcário dolomítico elevou os teores de P, K e Mg nas folhas de trigo, e de Ca e Mg nas folhas de soja, mas reduziu o teor de K nas folhas de soja.

A adubação potássica elevou o teor de K e reduziu os de Ca e Mg nas folhas de trigo e soja. As fontes KCl + S elementar e polihalita aumentaram o teor de S no trigo, sem alterar na soja.

A adubação potássica elevou a produtividade de trigo, com ou sem calagem superficial. A resposta do trigo foi influenciada pelo fornecimento de K e S, mas a aplicação de KCl + S elementar sem calagem reduziu a produtividade devido à acidificação do solo causada pelo S elementar.

A produtividade da soja sem calagem aumentou com KCl e polihalita, mas reduziu com KCl + S elementar devido à acidificação do solo. Com calagem, a produtividade aumentou com KCl, KCl + S e polihalita. A resposta da produtividade de grãos de soja aos tratamentos com fertilizantes parece ter sido influenciada pelo fornecimento de K, mas não de S.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNOUX M. *et al.* Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**. Versailles, v. 26, n. 1, p. 1–8, 2006.
- BONATO, E. R. *et al.* **A Soja no Brasil: História e Estatística**. Embrapa Soja. Londrina, 61p., 1987.
- CAIRES E.F. *et al.* Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**. v. 97, p. 791–798, 2005.
- CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Ponta Grossa, v. 24, n.1, p. 161-169, 2000.
- CAIRES, E. F. *et al.* Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Ponta Grossa, v. 26, n. 4, p. 1001-1022, 2002.
- CAIRES E. F.; FONSECA A. F. D. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**. Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.
- CAIRES, E. F., *et al.* Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Ponta Grossa, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.
- CAIRES, E. F., *et al.* Alterações das características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Ponta Grossa, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998.
- CALEGARI, A. *et al.* **Sistema Plantio Direto no Brasil**. Aldeia Norte Editora. Passo Fundo, 2022.
- CARVALHO J. L. N. *et al.* SPD aumenta sequestro de carbono pelo solo. **Visão agrícola**. Viçosa, n. 9, 2009.
- COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. **American Society of Agronomy**. Madison, p. 1-41, 1967.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2022/2023**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- COSTA, C. H. M. *et al.* Efeitos residuais da calagem superficial em solo tropical com plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 51, n. 9, p. 1421–1431, 2016.
- CRUZ, J. C. *et al.* Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 13-24, 2001.

ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.31, n.3, p.531-541, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Coleção 500 perguntas e 500 respostas: O produtor pergunta, a Embrapa responde. **EMBRAPA Trigo**. Brasília, 1. ed, 2016.

ESTEVAM C. G. *et al.* Potencial de mitigação de gases de efeito estufa das ações de descarbonização da produção de soja até 2030. **Observatório de Bioeconomia**. São Paulo, 2022.

FAO. Food and Agriculture Organization. **FAOSTAT Online Electronic**. 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>. Acesso em: 13 mar. 2025.

FAO. Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets. **Family Farming Knowledge Platform**. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1643117/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – FEBRAPDP. **Boletim Informativo**. Londrina, Ano 9, n.33, p. 8, 2008.

GONÇALVES, J. R. P. *et al.* Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 2, p. 369–375, 2011.

HOBBS, P. R.; SAYRE, K.; GUPTA, R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**. Londres, v. 363, p. 543–555, 2008.

INAGAKI, T. M., *et al.* Soil carbon and fertility attributes in response to surface liming in a no-till system. **Soil Science Society of America Journal**. v. 80, n. 5, p. 1207–1217, 2016.

KEMP, S.J. *et al.* An improved approach to characterize potash-bearing evaporite deposits, evidenced in North Yorkshire, United Kingdom. **Economic Geology**. v. 111, p. 719–742, 2016.

KINPARA, D. I. A importância estratégica do potássio para o Brasil. **EMBRAPA**. Planaltina, p. 27, 2003.

LAL, R. Sustainable management of soil resources in the humid tropics. **The United Nations University**. Tokyo, 146 p., 1995.

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

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

MOREIRA, S. G. *et al.* Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 1, p. 71–81, 2001.

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

PAVINATO, P. S. *et al.* Sugarcane response to polyhalite fertilizer in Brazilian Oxisols. **Agronomy Journal**. Hoboken, v. 112, n. 6, p. 5264–5278, 2020.

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.

SANTOS, H.G. *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos. **EMBRAPA**. Brasília, 5 ed., 2018.

SILVA, A. A. *et al.* Sistema de Plantio Direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.

SOUSA, A. L. M.; PEREIRA, M. W. G.; SILVA, R. A. A dinâmica da cultura da soja no estado do Paraná. **Vitrine da Conjuntura**. Curitiba, v. 4, n. 6, p. 1–8, ago. 2011.

TAIZ, L. *et al.* A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Editora Artmed**. Porto Alegre, 6 ed., p. 127, 2017.

USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE)**. 2023. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 15 fev. 2025.

VALE, F.; SÉRIO, D.R. Introducing polyhalite to Brazil: first steps of a new fertilizer. **International Potash Institute**. Piracicaba, n.48, p. 3–11, 2017.

ANEXO A – COMPROVANTES DE PARTICIPAÇÃO EM EVENTO TÉCNICO
CIENTÍFICO

CALAGEM SUPERFICIAL E ADUBAÇÃO POTÁSSICA NA PRODUÇÃO DE TRIGO E SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Nátally Smaha (FA), Murilo de Oliveira Delgobo, Mateus Cardoso, Heloisa Machado da Mota, Kauane Poliane Kampa, Alex Pinto de Matos, Eduardo Fávero Caires (Orientador), e-mail: efcaires@uepg.br

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola.

Agronomia/Ciência do Solo

Palavras-Chave: Calcário dolomítico, cloreto de potássio, S elementar, polihalita.

Resumo

A influência das aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita, sem e com calagem superficial, na produção de trigo e soja foi avaliada em um Latossolo Vermelho sob plantio direto na região Centro-Sul do Paraná. A produtividade do trigo e soja foram influenciadas pela aplicação de KCl e polihalita e calcário. A calagem superficial e a adubação potássica com KCl ou polihalita ocasionaram importantes acréscimos nas produtividades de trigo e soja em sistema plantio direto.

Introdução

Para a correção do solo em sistema plantio direto, a calagem é realizada sobre a superfície do solo sem incorporação (CAIRES et al., 2005). O cloreto de potássio (KCl) domina o mercado mundial de fertilizantes potássicos. A polihalita é uma fonte alternativa de K que contém cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na forma de sulfato em sua composição. Sendo assim, é possível que a polihalita possa substituir o uso de calcário, KCl e S elementar para a produção de grãos. Este trabalho teve o objetivo de avaliar as produtividades de grãos de trigo e soja considerando as aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita, sem e com calagem na superfície.

Material e Métodos

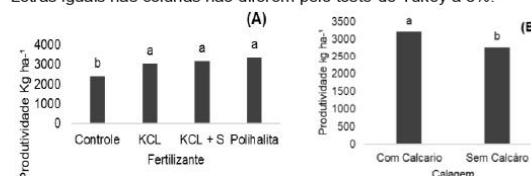
O experimento foi realizado na Fazenda Escola "Capão da Onça" da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial 4x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de um controle e de aplicações de KCl, KCl + S elementar (bentonita) e polihalita, sem e com calagem na superfície. No tratamento com calagem, o calcário foi distribuído sobre a superfície do solo em 2019. As aplicações de KCl e polihalita foram realizadas nas doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O pouco antes da semeadura do trigo e da soja, respectivamente. A quantidade de S na forma elementar foi aplicada junto com o KCl em dose equivalente àquela adicionada pela polihalita. Após a maturidade fisiológica, o trigo e a soja foram colhidos por meio de colhedora de parcelas para avaliação da produtividade. A umidade dos grãos foi corrigida para 130 g kg⁻¹. Os resultados foram submetidos à análise de variância e os efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Na ausência de interação significativa entre os tratamentos de calagem x adubação, os efeitos dos tratamentos foram comparados pelas médias das observações.

Resultados e Discussão

As produtividades de trigo e soja não foram influenciadas significativamente pela interação entre os tratamentos de calagem x adubação.

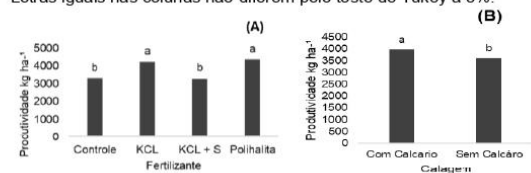
As aplicações de KCl, KCl + S elementar e polihalita aumentaram a produtividade de trigo em relação ao controle (Figura 1A). Os incrementos na produtividade de trigo foram semelhantes com o uso de KCl, sem e com S elementar, e de polihalita, demonstrando que a melhoria no rendimento de grãos de trigo foi ocasionada pelo fornecimento de K. A calagem superficial também aumentou a produtividade de trigo, independentemente dos tratamentos de adubação (Figura 1B).

Figura 1. Produtividade de grãos de trigo considerando a adubação com KCl, KCl + S elementar e polihalita (A) e a calagem superficial (B). Letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.



As aplicações de KCl e de polihalita aumentaram as produtividades da soja em relação aos tratamentos controle e com KCl + S elementar (Figura 2A). A calagem superficial também promoveu aumento no rendimento de grãos de soja (Figura 2B).

Figura 2. Produtividade de grãos de soja considerando a adubação com KCl, KCl + S elementar e polihalita (A) e a calagem superficial (B). Letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.



Conclusões

A calagem superficial e a adubação potássica com KCl ou polihalita aumentaram as produtividades de trigo e soja em sistema plantio direto.

Agradecimentos

À UEPG, FAUEPG, ANGLO AMERICAN e Fundação Araucária pelo auxílio para a realização deste projeto.

CAIRES E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. *Agronomy Journal*, v. 97, p. 791–798, 2005.



Certificado Iniciação Científica

Certificamos que **NÁTALLY SMAHA**, do Curso de Agronomia desta Instituição, participou do Programa de Iniciação Científica – BIC/ARAUCÁRIA - Ações Afirmativas, no período de 01 de setembro de 2022 a 31 de agosto de 2023, desenvolvendo o Subprojeto "CALAGEM SUPERFICIAL E ADUBAÇÃO POTÁSSICA NA PRODUÇÃO DE TRIGO E SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO", sob a orientação do Doutor Eduardo Fávero Caires, com carga horária total de novecentas (900) horas.

Andressa Novatski
Prof.^a Dr.^a Andressa Novatski
Coordenadora do PIBIC

Giovani Marino Favero
Prof. Dr. Giovani Marino Favero
Pro-Reitor

Emitido às 12:10:39 do dia 20/01/2024. Atenção: Qualquer rasura ou emenda invalidará este documento.

A autenticidade deste certificado pode ser verificada no site do PIBIC, no link AUTENTICAÇÃO. Código de Controle: 134D6F8.1D8CF.02CA2C