

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE AGRONOMIA**

VINÍCIUS SOUSA SILVA

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO ALUMINOFÉRRICO
TÍPICO SUBMETIDO À CALAGEM E GESSAGEM**

**ERECHIM
2025**

VINÍCIUS SOUSA SILVA

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO ALUMINOFÉRRICO
TÍPICO SUBMETIDO À CALAGEM E GESSAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção de bacharel em agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Castamann

ERECHIM

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Silva, Vinicius Sousa

Alterações Químicas de um Latossolo Vermelho
Aluminoférrico Típico Submetido à Calagem e Gessagem /
Vinicius Sousa Silva. -- 2025.

51 f.:il.

Orientador: Doutor Alfredo Castamann

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Erechim,RS, 2025.

1. calagem. 2. gessagem. 3. correção do solo. 4.
fertilidade do solo. 5. manejo agrícola. I. Castamann,
Alfredo, orient. II. Universidade Federal da Fronteira
Sul. III. Título.

VINÍCIUS SOUSA SILVA

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO ALUMINOFÉRRICO
TÍPICO SUBMETIDO À CALAGEM E GESSAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do bacharelado em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 17/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alfredo Castamann – UFFS
Orientador

Prof. Dra. Franciele Fatima Fernandes
Avaliadora

Prof. Dra. Sandra Maria Maziero
Avaliadora

Dedico este trabalho aos meus pais, cujo amor, dedicação e apoio sempre foram essenciais para o meu desenvolvimento pessoal. Eles criaram um ambiente de apoio que permitiu que meus sonhos e ideias florescessem.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer aos meus pais, Edna e Raimundo. Eles ensinaram o valor do esforço e da persistência. Mesmo longe durante essa graduação, sempre estiveram presentes com amor, carinho e apoio incondicional, que foram fundamentais para eu chegar até aqui. Aos meus irmãos, Vitória e Vitor, quero agradecer pelos incentivos e pelas palavras que muitas vezes renovaram minhas forças.

À minha família, deixo minha gratidão eterna. E, especialmente, à minha querida avó Isabel, que com sua sabedoria simples e sincera sempre dizia o quanto o estudo era importante e que todo o tempo longe valeria a pena. Hoje, sei que ela e meu avô Ben, que também não pôde acompanhar o fim dessa caminhada, estavam certos. Levo comigo todo o carinho, as lembranças e os ensinamentos que eles deixaram.

Gostaria de agradecer aos meus amigos Audryn, Camila, Sabrina, Josinete, Felipe Bitencourt, Nair, Kauê, Felipe Pontes, Julia, Paulo, Anderson e Thiago. Vocês fizeram essa jornada mais divertida e menos difícil. Um agradecimento especial à Audryn, Josinete e Thiago, que estiveram comigo nos trabalhos de campo e enfrentaram o sol e alguns perrengues com muita coragem e bom humor.

À técnica do Laboratório de Solos, Andrea, minha sincera gratidão pela paciência, atenção e por compartilhar comigo seu conhecimento prático e valioso. Também quero expressar minha gratidão ao professor Alfredo Castamann, meu orientador, pelo apoio, pelas orientações precisas e, principalmente, pela sua disponibilidade, inclusive nas atividades de campo. A sua dedicação, experiência e o olhar atento foram fundamentais para o sucesso deste trabalho e vão servir de base para minha caminhada profissional no futuro.

Agradeço a todos os professores da instituição, que, de diferentes formas, ajudaram a montar o quebra-cabeça da minha formação tanto acadêmica quanto pessoal. A todos citados, quero agradecer de coração por fazerem parte dessa trajetória. Apesar dos obstáculos, foi um período cheio de aprendizados, momentos que renderam boas risadas e muitas histórias para recordar, e que me auxiliaram a realizar este trabalho de conclusão de curso.

"O futuro é incerto, e talvez seja melhor que assim o seja. Alguns acreditam que o destino de cada pessoa já está traçado, mas de que serviria lutar se tudo estivesse definido? A verdade é que cada um constrói o próprio caminho. Ainda que não possamos escolher todas as cartas, sempre podemos decidir como jogá-las. É nisso que reside o verdadeiro sentido da vida, a capacidade de escolher" (Adaptado a partir de George R.R. Martin, 2000).

RESUMO

A fertilidade dos solos tropicais, como os Latossolos Vermelhos Aluminoférricos do Sul do Brasil, está diretamente ligada às interações entre a acidez, a disponibilidade de nutrientes e os corretivos que são aplicados. Por isso, entender como a calagem e a gessagem alteram esses fatores é fundamental para criar um ambiente químico mais favorável ao crescimento das raízes e ao aproveitamento dos nutrientes essenciais. Este trabalho teve como objetivo analisar como a aplicação de calcário e gesso agrícola, tanto separados quanto juntos, afeta as características químicas de um Latossolo Vermelho Aluminoférrico. A hipótese considerada é que o calcário atua principalmente na superfície, eleva o pH e aumenta a disponibilidade de fósforo, enquanto o gesso promove a movimentação vertical de cálcio, magnésio e enxofre, além de influenciar indiretamente a dinâmica do potássio. Os resultados demonstram maior pH e índice SMP na camada de 0-10 cm, que obtiveram padrão esperado devido à baixa mobilidade do calcário. O fósforo apresentou forte estratificação superficial, resultado da intensa fixação pelos óxidos de ferro e alumínio. A calagem incorporada elevou os teores de P, coerente com o efeito do pH na dessorção do nutriente. Já o enxofre aumentou significativamente nos tratamentos com gesso, isso reflete a alta mobilidade do sulfato e confirma sua eficiência no fornecimento de Ca e S em profundidade. Portanto, podemos entender que a calagem e a gessagem trabalham de forma complementar. A calagem ajuda a neutralizar a acidez do solo e aumenta a disponibilidade de fósforo na camada superior, enquanto a gessagem melhora a fertilidade nas camadas mais profundas, fornece cálcio e enxofre, além de influenciar na movimentação de potássio e magnésio. Dessa maneira, usar as duas práticas em conjunto é uma estratégia eficiente para melhorar a condição química do solo e criar um ambiente mais equilibrado para o crescimento das plantas.

Palavras-chave: calagem, gessagem, correção do solo, fertilidade do solo, manejo agrícola.

ABSTRACT

The fertility of tropical soils, particularly the Red Alumino-ferric Latosols found in Southern Brazil, is intrinsically dependent on the interactions between soil acidity, nutrient availability, and soil amendments. Consequently, elucidating the effects of liming and gypsum application on these factors is crucial for establishing a chemical environment conducive to root development and essential nutrient uptake. This study aimed to evaluate the effects of limestone and agricultural gypsum, applied both individually and in combination, on the chemical properties of a Red Alumino-ferric Latosol. It was hypothesized that limestone acts predominantly in the surface layers by increasing pH and phosphorus availability, whereas gypsum facilitates the vertical translocation of calcium, magnesium, and sulfur, while also indirectly affecting potassium dynamics. Results indicated higher pH and SMP index values in the 0-10 cm layer, consistent with the low mobility of limestone. Phosphorus exhibited marked surface stratification due to intense fixation by iron and aluminum oxides. Incorporated liming elevated P concentrations, aligning with the known effects of pH on nutrient desorption. Conversely, sulfur levels increased significantly in gypsum-treated plots, reflecting the high mobility of sulfate and confirming the amendment's efficacy in supplying Ca and S to the subsoil. In conclusion, liming and gypsum application function complementarily: liming neutralizes acidity and enhances phosphorus availability in the topsoil, while gypsum ameliorates subsoil fertility by supplying calcium and sulfur and influencing cation movement. Therefore, the combined use of these practices represents an efficient strategy for optimizing soil chemical conditions and fostering a balanced environment for plant growth.

Keywords: liming, gypsum, soil correction, soil fertility, agricultural management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Croqui	26
Figura 1 – Área experimental utilizada no estudo (em laranja).....	27
Figura 2 – Registro fotográfico 1	49
Figura 3 – Registro fotográfico 2	49
Figura 4 – Registro fotográfico 3	50
Figura 5 – Registro fotográfico 4	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Macronutrientes e suas formas iônicas.....	12
Tabela 2 – Descrição dos tratamentos	27
Tabela 3 – Índice SMP em solo submetido a calagem e gessagem.....	29
Tabela 4 – Valores do pH em cloreto de cálcio em solo submetido a calagem e gessagem (média das camadas amostradas).....	30
Tabela 5 Valores do pH em cloreto de cálcio entre as camadas amostradas em solo submetido a calagem e gessagem (média dos tratamentos testados).....	32
Tabela 6 – Teores de fósforo (mehlich-1) em um Latossolo submetido à calagem e a gessagem.....	33
Tabela 7 – Teores de potássio (mehlich-1) em um Latossolo submetido à calagem e a gessagem.....	35
Tabela 8 – Teores de potássio (mehlich-1) nas camadas amostradas, em solo submetido a calagem e gessagem.....	35
Tabela 9 – Valores de Cálcio entre as camadas amostradas em solo submetido a calagem e gessagem (média dos tratamentos testados).....	37
Tabela 10 – Valores de Magnésio entre as camadas amostradas em solo submetido a calagem e gessagem (média dos tratamentos testados).....	38
Tabela 11 – Teores de Enxofre em um Latossolo submetido à calagem e a gessagem.....	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	16
1.2	PROBLEMÁTICA.....	17
1.3	HIPÓTESE.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	FUNDAMENTOS E FATORES DO CONDICIONAMENTO DO SOLO.....	19
2.2	INTERAÇÃO ENTRE CALAGEM E GESSAGEM.....	20
2.3	ASPECTOS ECONÔMICOS.....	22
2.4	USO DO GESSO AGRÍCOLA NO RIO GRANDE DO SUL	23
2.5	RESULTADOS DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS SOBRE CALAGEM E GESSAGEM EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
6	REFERÊNCIAS	43
7	APÊNDICE	49

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das plantas encontra-se de modo direto relacionado à presença de um substrato que possibilite a fixação das raízes, assim como à oferta da quantidade adequada de água e nutrientes minerais essenciais (tabela 1). Dessa maneira, o solo deve apresentar um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular, para garantir a presença de nutrientes, porosidade, oxigênio e a ausência de substâncias tóxicas (Meurer, 2012).

Tabela 1 – Macronutrientes e suas formas iônicas

Nutrientes	Símbolo químico	Forma absorvida
	Macro	
Nitrogênio	N	NO_3^- , NH_4^+
Fósforo	P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
Potássio	K	K^+
Cálcio	Ca	Ca^{2+}
Magnésio	Mg	Mg^{2+}
Enxofre	S	SO_4^{2-}

Fonte: Adaptado de Meurer (2012).

Os macronutrientes descritos na Tabela 1 desempenham papéis específicos e suplementares nas funções vitais das plantas. Especialmente, é pertinente destacar os macronutrientes fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, uma vez que, quando esses elementos se encontram em equilíbrio apropriado e interagem com propriedades do solo, sobretudo com o pH e a capacidade de troca catiônica (CTC), a disponibilidade e a absorção dos nutrientes pelas plantas são de maneira direta afetadas, com impacto na qualidade e no rendimento das culturas (Narayan *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2024; Ventura *et al.*, 2021).

De acordo com Santos (2015), o valor do fósforo para as plantas é prontamente compreensível, uma vez que se refere a um macronutriente essencial, onde faz parte de um grupo de compostos fundamentais ao metabolismo vegetal. Esse elemento desempenha funções vitais na estrutura celular, participa da criação das membranas

fosfolipídicas e das cadeias de nucleotídeos que compõem o DNA e o RNA. Além de tudo, o fósforo atua como uma verdadeira fonte energética para as células, pois participam da molécula de adenosina trifosfato (ATP), essencial fonte de energia para as reações bioquímicas das plantas (Caballero, Durango e Pérez-Polo, 2023).

O potássio é importante para as plantas devido sua ação na ativação de enzimas, regula a abertura e o fechamento dos estômatos e mantém o equilíbrio de água nos tecidos vegetais. Além dessas funções, a disponibilidade eficiente de potássio pode aumentar a formação de nódulos nas raízes, por consequência, resulta em maior produtividade da planta (Pereira *et al.*, 2021). De acordo com Prado (2020), o cálcio é um macronutriente crucial para o desenvolvimento das plantas, principalmente por sua função na estruturação dos tecidos vegetais. O cálcio participa dinamicamente na composição das membranas e na formação da parede celular, ao garantir estabilidade e integridade para as estruturas da planta.

O magnésio está presente em diversos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. A quantidade de magnésio absorvida pelas plantas é, de modo geral, semelhante à do fósforo, porém, o magnésio é um elemento móvel e desempenha, pelo menos, cinco funções fundamentais, são elas: formação da molécula de clorofila, compor os ribossomos, sintetização de glutatona, ativação de metionina, contribuição para a estabilização das estruturas dos ácidos nucleicos, e além disso, é um elemento essencial na geração de trifosfato de adenosina (ATP), fonte principal de energia para os processos metabólicos das plantas (Vian *et al.*, 2023).

O enxofre é um macronutriente essencial para as plantas, desempenha papéis cruciais tanto na estruturação de biomoléculas quanto na regulação de processos fisiológicos e bioquímicos, sua disponibilidade afeta diretamente a síntese proteica e o metabolismo vegetal. Segundo Zenda *et al.* (2021), o enxofre participa do crescimento, da fotossíntese, da tolerância a estresses abióticos e da qualidade de grãos ou sementes, embora tenha sido tradicionalmente negligenciado na agricultura. Em nível molecular, a assimilação do enxofre é regulada por transportadores de sulfato, enzimas de redução e atores de sinalização que conectam o metabolismo sulfurado à resposta das plantas frente a condições ambientais adversas, por exemplo, em solos contaminados por metais pesados, compostos sulfurados desempenham papel-chave na detoxificação e na proteção celular (Sun *et al.*, 2023).

A partir do entendimento da importância dos macronutrientes, pode-se dizer que as atividades de caráter agrícola são compostas por pilares que sustentam a capacidade de cultivar e colher alimentos. Entre esses pilares, encontra-se o solo, que disponibiliza os nutrientes citados e requeridos pelas culturas, além de sustentar as plantas. Para evitar aprofundar em palavras o quanto o solo é importante, torna-se mais coerente para o contexto, relatar que as propriedades do solo permitem o desenvolvimento das plantas, ao oferecer os nutrientes essenciais, água e um ambiente seguro (Steffen *et al.*, 2024).

De acordo com a *Food and Agriculture Organization - FAO* (2022), cerca de 95% da produção de alimentos depende do solo, porém práticas agrícolas insustentáveis, exploração excessiva e crescimento populacional representam uma ampla ameaça sobre esse recurso, e resulta na degradação de um terço dos solos. Especialistas alertam que, até 2050, a erosão poderá reduzir a produção agrícola em 10%, devido a remoção da camada superficial de solo. A contaminação do solo, ameaça a qualidade dos alimentos e da água, isso torna a situação mais crítica quando se fala em salinização, que afeta 160 milhões de hectares e torna 1,5 milhão de hectares improdutivos, anualmente. Por isso, a reversão da degradação do solo é essencial para garantir a segurança alimentar, proteger a biodiversidade e enfrentar a crise (FAO, 2022).

O solo em sua aptidão natural efetua bem as funções de sustentar as plantas. O grande desafio está em preservá-lo e em manter sua estrutura física e química equilibrada, de forma que garanta a produção de alimentos, fibras e outros produtos agrícolas para a população, que está em constante crescimento e se torna cada vez mais exigente em qualidade. Nessa linha, entende-se que um produto de qualidade advém de um solo apto a atender as demandas das plantas, e quando isso não ocorre, é necessário manejar corretamente o solo (Ribeiro, 2024).

Muitos fatores podem ocasionar desequilíbrio no sistema solo-planta. Desde sua formação, que pode resultar em um solo acidificado, devido ao tipo de material de origem, os agentes de decomposição, como os microrganismos, e principalmente o clima. Em áreas com muita chuva, nutrientes como cálcio, magnésio, potássio e sódio se movem mais para fora do solo, aumenta o acúmulo de hidrogênio e alumínio. Atividades humanas também ajudam nisso, como o uso de adubos químicos e o

cultivo de plantas, que absorvem esses nutrientes do solo, especialmente nos lugares onde estão ligados às argilas e à matéria orgânica (Escosteguy et al., 2016).

A utilização da análise de solo na região começou a ser disseminada a partir dos anos 1960, com auxílio do Programa Nacional de Análises de Solos do Ministério da Agricultura e da parceria entre instituições de pesquisa em fertilidade do solo. Entre essas instituições, estão a UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o antigo IPEAS (hoje Embrapa), a Secretaria da Agricultura do RS, o IRGA - Instituto Rio Grandense do Arroz, a UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, a UFPel – Universidade Federal de Pelotas e a ASCAR-EMATER. Essa união permitiu a criação das primeiras tabelas de recomendação de adubação específicas para o Rio Grande do Sul (Silva *et al.*, 2016).

Antes de desenvolver o plantio de alguma cultura, o agricultor precisa fazer uma análise química do solo por vários motivos, entre eles, aumentar a produção, manter eficiente o uso de fertilizantes com o meio ambiente, identificar problemas nas plantas, melhorar a nutrição do solo e usar a quantidade certa de fertilizantes. A análise também mostra se os nutrientes estão disponíveis, o nível de pH e se há excesso de sais, além de contribuir para a decisão de realizar correção da acidez do solo (Rodrigues; Correia, 2022).

Nesse sentido, destaca-se o pH do solo, uma métrica essencial para os agricultores, porque demonstra se o solo é ácido, neutro ou alcalino, características que afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Quando o pH está muito baixo, o solo é considerado ácido, alguns nutrientes ficam indisponíveis, e o excesso de alumínio e ferro pode ser tóxico para as culturas. Para corrigir essa acidez, utiliza-se a calagem, que consiste na aplicação de calcário no solo. Esse processo aumenta o pH, melhora a área para as raízes absorverem os nutrientes essenciais e auxilia o desenvolvimento saudável das plantas (Castro, 2024).

De acordo com Guedes Junior (2017), a correção do solo também pode ser feita a partir do uso da gessagem. Se trata da aplicação de gesso agrícola no solo, que ajuda a melhorar a qualidade e a estrutura do solo em profundidade. Diferente da calagem, que corrige a acidez do solo nas camadas mais superficiais, o gesso tem a capacidade de penetrar mais fundo e fornecer cálcio e enxofre para as raízes das plantas. Isso é de extrema importância e utilidade para solos compactados ou que

apresentam alta concentração de alumínio, pois essas características dificultam o crescimento das raízes.

Há vários estudos sobre a manutenção dos atributos químicos e físicos do solo no mundo inteiro. Por exemplo, um amplo estudo realizado pela FAO (2015), relata que cerca de 33% dos solos do mundo estão degradados, ou seja, um terço dos solos do planeta apresentam degradação, seja pela erosão, compactação do solo ou perda de matéria orgânica. O estudo ainda estima perdas anuais de culturas em razão destes acontecimentos e da falta de ações para manter a qualidade dos solos.

Essas pesquisas são realizadas com o intuito de fortalecer o solo e mantê-lo eficiente como reservatório de nutrientes, além de um ambiente para o crescimento das plantas. A partir disso, surgem maneiras de condicionar o solo, a fim de auxiliá-lo em seu equilíbrio químico, como por exemplo, o uso de calagem e gessagem. Um estudo da Universidade Federal do Piauí (UFPI), avaliou o impacto da calagem e gessagem na fertilidade do solo e mostrou como esta prática melhora a produtividade da cultura da soja (Oliveira, 2024).

Entende-se o condicionamento do solo como uma ferramenta capaz de aprimorar os aspectos positivos que queremos que estejam presentes no solo para a produção agrícola. No Rio Grande do Sul (RS), os produtores de arroz apostaram no condicionamento do solo para a safra 20/21, pois, fertilizante mineral à base de cálcio e enxofre são capazes de neutralizar o ferro em excesso no solo. Então, nesse contexto torna-se importante analisar solos que foram submetidos a algum condicionamento a fim de potencializar a produção agrícola. Em razão disso, este estudo tem como temática a análise química de um solo submetido a calagem e gessagem, a fim de avaliar os efeitos deste condicionamento no solo (Alves, 2020).

1.1 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Ao realizar considerações do que foi exposto até agora, entende-se que as características do solo para a produção agrícola e os desafios enfrentados para manter suas propriedades químicas equilibradas, é parte essencial que deve ser pesquisada e entendida, principalmente quando se falam dos impactos de manejos empregados no solo. Dito isto, o objetivo principal desta pesquisa é analisar as mudanças nas propriedades químicas de um solo submetido à calagem e gessagem. Como objetivos secundários, busca-se verificar o teor dos seguintes macronutrientes:

fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, além do índice SMP (*Shoemaker, MacLean e Pratt*), medida usada para estimar a acidez potencial do solo e por fim, o pH em cloreto de cálcio.

A justificativa para esta pesquisa se encontra na relevância do condicionamento do solo como ferramenta fundamental para atestar sua aptidão corretiva, ao contribuir para a sustentabilidade agrícola e manutenção dos aspectos físicos e químicos do próprio solo. Por sua vez, o estudo se torna relevante frente ao cenário atual de degradação dos solos, onde práticas como a calagem e a gessagem podem desempenhar um papel importante na recuperação e no equilíbrio químico dos sistemas agrícolas.

1.2 PROBLEMÁTICA

A calagem e a gessagem são práticas bastante comuns usadas para melhorar a fertilidade do solo, mas sua eficácia pode variar dependendo do nutriente em questão e da profundidade do perfil do solo. Nesse contexto, é importante entender que o objetivo não é apenas controlar a acidez na camada de baixo, mas compreender de forma integrada como esses corretivos afetam os diferentes atributos químicos do solo ao mesmo tempo (*Silva et al.*, 2016).

Em Latossolos, a situação de melhoria do solo se agrava devido à limitada capacidade de tamponamento em profundidade e à baixa mobilidade do calcário, cuja atuação corretiva permanece concentrada nas camadas superficiais. Diante dessa limitação, a gessagem desponta como prática complementar de elevada relevância (*Santos et al.*, 2021).

Sua aplicação permite o fornecimento de cálcio e enxofre às camadas mais profundas do solo, favorecendo a formação de complexos estáveis com o alumínio trocável e, assim, atenuando seus efeitos tóxicos. No entanto, o alumínio não constitui o único fator determinante para o desempenho químico do solo. A fertilidade depende de um conjunto de atributos, entre os quais se destacam o pH, os teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio e enxofre (*Susin et al.*, 2023).

A compreensão integrada dessas variáveis é essencial para avaliar os reais benefícios das práticas corretivas adotadas. Dessa forma, surge a seguinte questão: a aplicação de calcário e gesso agrícola em Latossolo da região de Erechim (RS) resultam em qualidade no sistema do solo em subsuperfície e, simultaneamente,

promove melhorias expressivas nos atributos químicos do solo, capazes de criar um ambiente mais fértil e funcional para o desenvolvimento das raízes e o desempenho das culturas?

1.3 HIPÓTESE

A aplicação de gesso agrícola, isolada ou associada à calagem, promoverá a redução dos teores de alumínio trocável nas camadas subsuperficiais do solo, ao mesmo tempo em que induzirá melhorias nos atributos químicos gerais, como o aumento dos teores de macronutrientes. Esses efeitos favorecerão a neutralização da acidez em profundidade, melhorarão a disponibilidade de nutrientes e proporcionarão um ambiente químico mais equilibrado e propício ao desenvolvimento radicular e à maior eficiência produtiva das culturas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTOS E FATORES DO CONDICIONAMENTO DO SOLO

Entende-se que o pH do solo é muito importante porque afeta vários processos químicos, especialmente a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas. Em solos ácidos, as plantas podem sofrer estresses. O estresse mais comum observado em solos ácidos tem relação com a toxicidade por alumínio. O alumínio está presente em todos os solos, mas o tipo que é tóxico para as plantas (Al^{3+}) se dissolve mais em solos ácidos. Apesar de não ser um nutriente, o alumínio entra nas raízes das plantas e prejudica o crescimento delas (Rodrigues; Correia, 2022).

Inteirado ao fator nutriente para as plantas, adentra-se ações de correção da acidez do solo, que se apresenta como uma prática muito importante para ajudar as plantas a utilizarem com eficiência os fertilizantes, principalmente em culturas que não suportam solos ácidos. O objetivo principal da correção é aumentar o pH do solo para um nível ideal, que fica entre 5,5 e 6,5. Isso ajuda a neutralizar ou diminuir os efeitos prejudiciais do alumínio, além de melhorar as condições das raízes, facilitando a absorção de nutrientes essenciais. Solos com mais alumínio, matéria orgânica e argila costumam precisar de mais calcário, pois essas características aumentam a acidez e a resistência a mudanças de pH (Veloso *et al.*, 2020).

O solo carrega em si a chave da fertilidade e do crescimento. Em meio a essa dinâmica, a calagem se faz presente como uma prática agrícola que possibilita a neutralização do alumínio tóxico (Al^{3+}) e aumenta a disponibilidade de cálcio (Ca^{2+}) no solo. A partir de sua aplicação, a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo se amplia e os fertilizantes tornam-se mais eficientes. Além disso, o pH se eleva, propagando a vida microscópica, o que permite que a matéria orgânica se decomponha mais rápido, liberando os nutrientes na solução do solo (Olego *et al.*, 2016).

Porém essa reação é limitada, pois segundo Gonçalves *et al.* (2011), o efeito da aplicação de calcário tende a permanecer restrito às camadas superficiais. Assim, as camadas mais profundas do solo acabam por não receber a reação advinda da aplicação de calcário. Nessa situação encontra-se o gesso agrícola, que pode atuar nas camadas mais profundas. O gesso também é capaz de limitar a absorção do Al^{3+} ao adicionar cálcio e enxofre ao solo. Pode-se afirmar ainda que esses elementos

poderão migrar para as camadas mais profundas e que isto é um dos fatores de maior valor em sua utilização (Ramos *et al.*, 2013).

Desta forma, as raízes poderão explorar o solo em profundidade, absorvendo mais água e nutrientes. Permite-se então que as plantas antes sensíveis, agora possam sofrer menos estresses em um ambiente mais favorável, suportando às secas passageiras, o que posteriormente resultará em uma produção com mais quantidade e qualidade (Machado, 2024).

2.2 INTERAÇÃO ENTRE CALAGEM E GESSAGEM

Segundo Silva *et al.* (2016), a interação entre calagem e gessagem é muito importante para melhorar a qualidade do solo. O uso das duas práticas juntas não só aumenta o pH do solo, mas também oferece mais cálcio e diminui a toxicidade do alumínio. Aplicar calcário e gesso juntos aumenta a fertilidade, pois fornece mais nutrientes. Essa combinação é essencial para um manejo sustentável, ajudando a aumentar bastante a produção das plantas.

Ao aplicar calcário, eleva-se o pH do solo, o que ajuda na solubilidade dos nutrientes essenciais. A gessagem também é importante para melhorar essas características do solo. O gesso fornece cálcio e ajuda a diminuir a toxicidade do alumínio. Além disso, ele melhora a estrutura do solo, favorecendo a formação de agregados e aumentando a aeração e a retenção de água. Dessa forma, a gessagem se torna uma estratégia valiosa para aumentar a fertilidade e a produtividade das culturas (Castro, 2024).

O gesso, que é feito de sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), é um subproduto da fabricação de fertilizantes fosfatados, apresenta caráter melhorador de solo que vem da mineração da rocha. O cálcio se liga ao alumínio na solução do solo, facilitando a sua remoção e contribuindo para um ambiente mais saudável para as raízes das plantas (Basso; Nuernberg; Rech, 2018).

Segundo Nascimento (2018), o uso do gesso agrícola também é importante para melhorar a estrutura do solo. Quando o gesso é aplicado, o solo acaba por se tornar mais arejado, permitindo que o ar circule melhor entre as partículas. Isso é leva ao desenvolvimento das raízes saudáveis, pois precisam de oxigênio. Além disso, o gesso aumenta a capacidade do solo de reter água, o que é essencial, especialmente

em períodos de seca. Com um solo mais leve e que retém mais água, as plantas conseguem se desenvolver melhor, tornando-se mais saudáveis e produtivas.

Entender os fatores que afetam as propriedades de um solo ajuda a criar estratégias de manejo eficientes, aumentando a disponibilidade de nutrientes e reduzindo problemas como a toxicidade do alumínio. A combinação de calagem e gessagem é especialmente vantajosa, pois ajuda a corrigir a acidez do solo e melhora a estrutura e o funcionamento dos nutrientes (Gatiboni *et al.*, 2016).

Em consideração ao relato de Silva *et al.* (2016), a correção da acidez com calcário funciona ao neutralizar o alumínio tóxico e reduzir a presença de íons de hidrogênio (H^+) no solo. Quando o calcário se dissolve, libera cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), que ajudam a remover o alumínio. O efeito do calcário só alcança uma pequena profundidade, então quanto mais profundo e maior a quantidade aplicada, melhor o resultado. No plantio direto, a aplicação do calcário é feita na superfície, o que significa que a correção é mais lenta e se concentra nas camadas superiores do solo. Estudos mostraram que a ação do calcário pode elevar o pH até certa profundidade, mas os resultados variam dependendo do tipo de solo e da quantidade aplicada.

O gesso agrícola tem entre 17 e 23% de enxofre e cálcio, e uma pequena quantidade de fósforo. Embora não corrija diretamente a acidez do solo, pode ajudar a neutralizar temporariamente a atividade do hidrogênio (H^+) e do alumínio. Depois de se dissolver, o gesso libera sulfato (SO_4^{2-}), que pode ser absorvido pelas plantas ou se mover para camadas mais profundas do solo. A água é muito importante para as reações do gesso, pois ajuda na sua dissolução e movimentação no solo (Santos *et al.*, 2016).

Diversas pesquisas têm demonstrado a eficácia do gesso agrícola na melhoria química do subsolo, destacando-se especialmente na redução da toxidez do alumínio em camadas mais profundas. Essa eficiência está associada à alta solubilidade do gesso, que facilita o transporte dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} em profundidade, pois o calcário não apresenta efeito significativo, devido à sua baixa mobilidade (Castro, 2024). O sulfato presente no gesso forma complexos estáveis com o alumínio trocável, reduzindo sua atividade na solução do solo e, conseqüentemente, sua absorção pelas raízes.

Estudos como o de Ramos *et al.* (2013) comprovam que doses crescentes de gesso em Latossolos diminuem significativamente os teores de Al^{3+} em profundidade

e aumentam os níveis de Ca^{2+} . Essa modificação no perfil químico favorece o aprofundamento do sistema radicular, promovendo maior absorção de água e nutrientes em camadas subsuperficiais, o que se reflete em maior tolerância das culturas ao déficit hídrico e à limitação nutricional, especialmente em solos de textura média a arenosa.

Entender os princípios que influenciam o condicionamento do solo, como o equilíbrio do pH, uso de corretivos como calcário e gesso, e a disponibilidade de nutrientes essenciais, é fundamental para o manejo eficiente da fertilidade. Porém, não basta aplicar essas práticas apenas do ponto de vista técnico. É de extrema importância fazer uma análise dos custos, benefícios e levar em consideração se o investimento vale a pena. Desse modo, a eficácia do condicionamento do solo está diretamente ligada à sustentabilidade financeira das atividades agrícolas (Enesi *et al.*, 2023; Ollikainen *et al.*, 2024).

2.3 ASPECTOS ECONÔMICOS

A interferência do alumínio trocável na produtividade agrícola é bastante conhecida, especialmente em solos ácidos, nos quais o excesso de Al^{3+} compromete severamente o desenvolvimento radicular, dificulta a absorção de nutrientes e reduz o desempenho das culturas. Nesse contexto, a gessagem é vista como uma solução eficiente e tecnicamente complementar à calagem, atuando de forma mais incisiva em camadas subsuperficiais, onde o calcário, por sua baixa mobilidade, raramente alcança com eficácia (Rabel *et al.*, 2018; Boschiero, 2022).

O efeito físico-químico da gessagem contribui diretamente para a ampliação da área de exploração radicular, aumentando a eficiência na captação de água e nutrientes, aspectos fundamentais para a resiliência das plantas em ambientes de estresse (Tiecher *et al.*, 2018; Caires *et al.*, 2020). Do ponto de vista econômico, a calagem isolada, embora eficaz na neutralização da acidez superficial, demanda doses elevadas e longos períodos de reação para exercer efeito significativo nas camadas mais profundas. Isso aumenta os custos do manejo, tanto pela maior quantidade de corretivo necessária quanto pelos desafios logísticos associados à sua aplicação (Anderson *et al.*, 2020).

Em contraste, o uso combinado de calcário e gesso apresenta-se como uma alternativa mais racional, eficiente e economicamente vantajosa, sobretudo em

sistemas como o plantio direto. Castro (2024) ressalta que, nesses sistemas, a gessagem é capaz de corrigir a acidez em subsuperfície com maior rapidez e menor custo. Corroborando essa vantagem, Oliveira (2024) demonstrou que a aplicação conjunta de 1 t/ha de calcário com 3,2 t/ha de gesso resultou em produtividade superior à obtida com 4 t/ha de calcário isolado e evidenciou que o efeito positivo entre os dois insumos não apenas reduz a necessidade de altas doses, como também otimiza os recursos investidos.

Dessa forma, embora a calagem isolada possa, em algumas situações, atingir resultados semelhantes, isso geralmente requer maior aporte financeiro e operacional. Já a combinação estratégica com o gesso amplia a eficiência do manejo da acidez em profundidade, sobretudo em solos como o Latossolo avaliado neste experimento, onde a presença de alumínio em subsuperfície representa um dos principais entraves ao pleno desenvolvimento das culturas (Besen *et al.*, 2020).

2.4 USO DO GESSO AGRÍCOLA NO RIO GRANDE DO SUL

Os solos existentes no Rio Grande do sul, como os argissolos, cambissolos e alguns latossolos, costumam apresentar maior saturação por bases nas camadas superficiais, além de menor mobilidade do alumínio em profundidade. Ainda assim, isso não elimina a possibilidade de ocorrência de acidez subsuperficial, especialmente em áreas com histórico de uso agrícola intensivo e baixa reposição de cálcio em profundidade ao longo dos anos (Tiecher *et al.*, 2018)

Nesses contextos, a gessagem se mostra uma alternativa promissora, capaz de melhorar a distribuição do cálcio ao longo do perfil do solo, reduzir a toxidez do alumínio em camadas inferiores e estimular o crescimento radicular em profundidade (Santos *et al.*, 2016; Nascimento, 2018). Portanto, mesmo em regiões onde o uso do gesso ainda é pouco difundido, como no Rio Grande do Sul, é importante que sua aplicação seja tecnicamente avaliada, especialmente em solos com maior profundidade efetiva.

O presente experimento, ao investigar os efeitos da calagem e da gessagem em um Latossolo na região de Erechim, busca fornecer dados concretos sobre as transformações químicas ocorridas no solo e demonstrar a viabilidade dessa prática em condições específicas do Sul do Brasil. Com isso, pretende-se contribuir para um

manejo mais eficiente da fertilidade dos solos regionais, ao ser capaz de ampliar as estratégias sustentáveis disponíveis aos produtores locais (Rampim, 2008).

2.5 RESULTADOS DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS SOBRE CALAGEM E GESSAGEM EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO

O estudo de Gomes *et al.* (2024), conduzido em um Neossolo Quartzarênico distrófico sob cultivo de coqueiro-anão verde (*Cocos nucifera* L.) na Amazônia Oriental, avaliou os efeitos da aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola, isolados e combinados, sobre os atributos químicos do solo e a nutrição das plantas. De modo geral, os resultados apresentados confirmam que a calagem associada à gessagem em solos arenosos e ácidos eleva o pH em CaCl_2 e reduz a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}$), aumenta a saturação por bases (V%), reduz a saturação por alumínio, eleva os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} no perfil do solo, melhora a absorção de macronutrientes (N, K e Mg) e favorece o desenvolvimento radicular das plantas.

Outro estudo avaliou a resposta das culturas de milho e soja à aplicação de gesso agrícola e calcário em sistema de plantio direto, com o objetivo de compreender as alterações químicas do solo e seus reflexos sobre a produtividade das culturas. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho distroférrico típico da região Centro-Oeste, sob condições de acidez moderada e baixa saturação por bases. De modo geral, Monzón *et al.* (2022) demonstraram que o uso conjunto de calcário e gesso agrícola eleva o pH e reduz a acidez potencial do solo, aumenta a saturação por bases e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} , além de melhorar a disponibilidade de fósforo (H_2PO_4^- - HPO_4^{2-}) e favorece a absorção de macronutrientes pelas culturas, dados estes que contribuem positivamente com as afirmações expostas por Gomes *et al.* (2024) no estudo citado anteriormente.

Ao partir do objetivo de avaliar o efeito de diferentes doses de gesso agrícola sobre os atributos químicos e físicos do solo e na produção de *Brachiaria decumbens*, um experimento foi conduzido em área de pastagem degradada, com solo de baixa fertilidade natural, pH ácido e teores reduzidos de cálcio e magnésio. Fundamentado nos resultados conclui-se que a gessagem, aumenta os teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no perfil do solo, reduz a acidez trocável (Al^{3+}) e eleva a saturação por bases, assim como demonstrado em alguns resultados dos estudos anteriores. Também melhora a

porosidade e a estrutura do solo e promove maior crescimento radicular e produtividade da forrageira *Brachiaria decumbens* (Tavares *et al.*, 2024).

Com base na tese de Nascimento (2018), os resultados experimentais evidenciaram importantes respostas do solo e das culturas à calagem e gessagem, tanto em superfície quanto incorporadas. A aplicação combinada de calcário e gesso agrícola promoveu melhorias significativas nos atributos químicos do solo, principalmente no aumento dos teores de cálcio e magnésio, na saturação por bases e na disponibilidade de fósforo, além de elevar o pH e reduzir a acidez ativa

O artigo de Bossolani *et al.* (2021), demonstra que a aplicação de calcário e fosfogesso, isolados ou combinados, promoveu melhorias expressivas nas propriedades químicas do solo, na nutrição mineral e na fisiologia do milho sob sistema de plantio direto e condições de déficit hídrico. Quando aplicados em conjunto, os efeitos foram potencializados, promovendo maior uniformidade na distribuição radicular e maior acúmulo de matéria seca de raízes em camadas abaixo de 0,4 m. Esse comportamento resultou em melhor absorção de macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S) e, conseqüentemente, melhor desempenho fisiológico das plantas, refletido em aumento das taxas fotossintéticas, maior eficiência no uso da água e redução do estresse oxidativo.

Os estudos que foram revisados mostram que usar calagem e gessagem é fundamental para melhorar as características químicas e físicas do solo. Essas práticas ajudam a equilibrar os nutrientes essenciais, reduzir a acidez e aumentar a produtividade das plantações. Por isso, este trabalho propõe realizar um experimento para verificar, em condições locais, como a aplicação de calcário e gesso afeta o solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim, Rio Grande do Sul. Também foram utilizados os laboratórios da universidade e os tratamentos foram aplicados em Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico (Streck *et al.*, 2018).

A quantidade de corretivo para ajustar a acidez do solo foi definida com base no uso de um calcário dolomítico que possui um Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 80%. O objetivo era aumentar o pH do solo até atingir o valor de 6,0. Para calcular quanto de calagem era necessário, utilizamos o método do índice SMP, seguindo as orientações do Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Santos *et al.*, 2016).

Quanto à gessagem, a necessidade foi determinada com base no teor de argila encontrado na análise do solo da área experimental. Para isso, usamos a fórmula sugerida por Costa (2019), que indica que a necessidade de gesso é igual a 50 vezes o percentual de argila presente no solo.

Foi realizado por meio de delineamento de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, conforme apresentado no croqui (quadro 1). As parcelas experimentais tinham dimensões de 6 x 4 metros, com bordaduras de 1 metro entre parcelas e 2 metros entre os blocos.

Quadro 1 – Croqui

B1	T4	T3	T2	T6	T1	T5
B2	T6	T4	T5	T1	T2	T3
B3	T5	T2	T6	T4	T3	T1
B4	T1	T5	T3	T2	T6	T4

Fonte: o autor (2025).

Os tratamentos foram aplicados em outubro de 2022 e podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos

Tratamento	Descrição dos tratamentos
T1	Controle
T2	4 t/ha de calcário incorporado.
T3	3,2 t/ha de gesso
T4	1 t/ha de calcário em superfície
T5	1 t/ha de calcário em superfície + 3,2 t/ha de gesso
T6	1 t/ha de calcário em superfície + 1,6 t/ha de gesso

Fonte: o autor (2025).

A coleta de solo realizada na área experimental da UFFS demarcada em destaque laranja na Figura 1, seguiu um planejamento organizado por blocos, para que as amostras fossem representativas e as variações internas do local fossem controladas. O procedimento começou no Bloco 1 e seguiu de forma sequencial até o Bloco 4, usando sempre o mesmo método em todas as parcelas.

Figura 1 – Área experimental utilizada no estudo (em laranja).



Fonte: Google Earth (2025).

Em cada parcela, a coleta foi feita no centro da área com o auxílio de um trado calador em 8 subamostras. Cada uma delas foram misturadas manualmente e acondicionadas em sacos plásticos limpos, formando uma única amostra que representasse a parcela e a profundidade. Para o estudo, foram consideradas as camadas de 0 a 10 centímetros e de 10 a 20 centímetros. O material coletado foi devidamente identificado com informações sobre o bloco e tratamento, a profundidade e a data da coleta, garantindo rastreabilidade e padronização para as próximas etapas de preparo, secagem e análise no laboratório.

Para a caracterização química do solo, foram feitas análises laboratoriais para a determinação do índice SMP, do pH em solução de CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) e dos teores de fósforo (H_2PO_4^- - HPO_4^{2-}), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e enxofre (SO_4^{2-}).

As análises químicas do solo foram feitas seguindo os procedimentos descritos por Tedesco *et al.* (1995). Os testes foram realizados no laboratório de solos, química e na Central Analítica da universidade, usando equipamentos calibrados. Foi realizada a determinação do pH em solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Depois, foi determinado o índice SMP de acordo com a metodologia descrita em Tedesco *et al.* (1995).

O fósforo e o potássio disponíveis foram extraídos pelo método mehlich-1. O fósforo foi determinado por meio de espectrofotometria UV/VIS. O potássio foi determinado em um fotômetro de chama.

As determinações de cálcio e magnésio foram realizadas a partir do uso de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado - ICPE. As amostras foram previamente extraídas com solução de KCl 1 mol L^{-1} , e posteriormente alíquotas do extrato foram submetidas ao ICPE com as devidas curvas.

A determinação do enxofre (S-SO_4^{2-}), deu-se após a extração com uma solução de cloreto de bário, formando um precipitado, por turbidimetria e opacidade do líquido. As leituras foram feitas em um espectrofotômetro UV/VIS conforme descrito em Tedesco *et al.* (1995).

Após a obtenção dos resultados, estes foram submetidos às análises estatísticas, com auxílio do software estatístico SISVAR (Ferreira, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da Tabela 3 mostram que houve diferenças importantes no índice SMP tanto entre os diferentes tratamentos, quanto entre as camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. Isso indica que a acidez potencial foi influenciada pelas práticas de calagem e gessagem realizadas. Como explica o Manual de Calagem e Adubação da CQFS-RS/SC (Silva *et al.*, 2016), o índice SMP é uma ferramenta importante para avaliar a necessidade de calagem, pois mede o quão ácido o solo pode ficar principalmente levando em conta o teor de alumínio trocável (Al^{3+}).

Tabela 3 – Índice SMP em solo submetido a calagem e gessagem

	pH SMP*	
	0 a 10 cm	10 a 20 cm
1 t/ha de calcário	5,60 aA	4,93 bB
1 t/ha de calcário + 1,6 t/ha de gesso	5,56 abA	5,23 abB
1 t/ha de calcário + 3,2 t/ha de gesso	5,43 abcA	5,33 aA
4 t/ha de calcário inc.	5,29 abcA	4,74 cB
3,2 t/ha de gesso	5,23 bcA	4,99 abcB
Controle	5,12 cA	4,95 bcA
CV (%)	3,23	

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na linha.

Os valores mais altos de SMP na camada de 0 a 10 cm, observados nos tratamentos que receberam calcário, seja na dose maior (4 t/ha incorporada) ou na dose menor (1 t/ha aplicada superficialmente), mostram que a calagem reduziu a acidez potencial na superfície do solo. Essa informação está de acordo com Gonçalves *et al.* (2011), que destacam que o efeito do calcário é mais forte nas camadas superiores porque ele não se move facilmente pelo perfil do solo, permanecendo principalmente nos primeiros centímetros, mesmo meses após a aplicação. Portanto, o SMP mais elevado, com 1 t/ha de calcário (5,60), e o de 4 t/ha de calcário incorporado (5,29), refletem a ação direta do corretivo na neutralização dos íons ácidos.

Nos tratamentos que receberam gesso agrícola associado ao calcário, especialmente 1 t/ha de calcário + 1,6 t/ha de gesso e 1 t/ha de calcário + 3,2 t/ha de gesso, observou-se que não houve diferenciação significativa em relação a maioria dos outros tratamentos. Conforme demonstrado por Ramos *et al.* (2013), a gessagem reduz os efeitos da acidez subsuperficial ao formar complexos Al-SO_4^+ e diminuir a atividade do Al^{3+} na solução do solo. Isso explica a menor diferença entre as camadas nesses tratamentos, como no caso do tratamento 3 (3,2 t/ha de gesso), onde o valor de SMP em 10-20 cm (5,33) praticamente iguala o da superfície.

O baixo valor do índice SMP no tratamento controle (5,12 e 4,95) indicou que o Latossolo Vermelho Aluminoférrico da região tem um alto poder tamponante. Isso acontece porque ele apresenta pouca saturação por bases e altos teores de alumínio (Al^{3+}) na camada mais profunda, como foi explicado por Streck *et al.* (2018).

O uso de 3,2 toneladas por hectare de gesso, sem a aplicação de calcário, resultou em valores mais altos do índice SMP do que no tratamento controle, tanto na superfície quanto em profundidade. Isso evidenciou que o gesso, embora não neutralize a acidez ativa, ajuda a diminuir a acidez potencial ao formar complexos com o Al^{3+} . Essa mesma tendência foi observada em estudos feitos por Monzón *et al.* (2022), que também observaram um aumento no SMP nas camadas abaixo da superfície após a aplicação de gesso, mesmo sem uma mudança significativa no pH.

Pode-se constatar diferenças importantes em relação à acidez ativa (pH em solução de CaCl_2) entre os diferentes tratamentos (Tabela 4). Essas diferenças refletem os efeitos diretos e indiretos da calagem e da gessagem na acidez ativa do solo. O tratamento controle teve o maior pH, de 5,46, o que sugere que a condição inicial do Latossolo Vermelho Aluminoférrico na área experimental era de acidez moderada. Essa característica é comum em Latossolos que recebem manejo contínuo e cobertura vegetal, pois eles costumam ter maior capacidade de tamponamento na superfície, devido à ciclagem de nutrientes e ao acúmulo de matéria orgânica (Veloso *et al.*, 2020).

Tabela 4 – Valores do pH em cloreto de cálcio em solo submetido a calagem e gessagem (média das camadas amostradas)

	pH CaCl_2^*
Controle	5,46 a
1 t/ha de calcário	5,31 ab

1 t/ha de calcário + 3,2 t/ha de gesso	5,28 ab
1 t/ha de calcário + 1,6 t/ha de gesso	5,19 b
3,2 t/ha de gesso	5,10 b
4 t/ha de calcário inc.	5,08 b
CV (%)	3,06

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna.

Prado (2020) e Veloso *et al.* (2020) explicaram que a acidez ativa do solo não é influenciada apenas pela aplicação de corretivos, mas também pela presença de bases trocáveis remanescentes, pela mineralização da matéria orgânica, pelo tipo de argila e pela capacidade tampão do solo. Nessas situações, podem acontecer variações no pH que não estão necessariamente relacionadas aos tratamentos realizados. Além disso, o aumento do pH após a aplicação de calcário costuma levar um tempo, especialmente em Latossolos, onde a reação é mais lenta, devido à baixa quantidade de carbonatos solúveis e ao contato limitado entre o corretivo e os colóides.

Embora a calagem geralmente seja usada para aumentar o pH do solo, esse efeito depende bastante de fatores como a solubilidade do calcário, o tempo de reação e a maneira como ele é aplicado. Quando a calagem é feita na superfície, a reação tende a ficar concentrada nas camadas mais próximas à superfície, nos primeiros centímetros, o que faz com que o pH médio na camada de 0 a 20 centímetros nem sempre mostre todo o efeito corretivo esperado, como apontam Castro (2024) e Nascimento (2018). Por outro lado, ao incorporar o calcário ao solo, o revolvimento pode acelerar a reatividade inicial, mas também pode expor partículas parcialmente carbonatadas a ambientes mais úmidos e ácidos, levando à liberação de CO_2 e causando pequenas oscilações temporárias no pH.

Os tratamentos com gesso, seja em aplicação isolada ou em associação com o calcário, variam entre 5,10 e 5,28 (Tabela 4). Isso faz sentido, pois o sulfato de cálcio não neutraliza a acidez ativa nem altera diretamente o pH do solo, diferentemente do calcário. De acordo com Basso, Nuernberg e Rech (2018), o gesso consegue formar uma complexação com o alumínio (Al^{3+}), mas não muda a quantidade de íons H^+ na solução, o que explica por que o pH não sobe. Portanto, a pequena queda observada em alguns tratamentos está relacionada ao aumento da força iônica e à liberação de íons sulfato (SO_4^{2-}) na solução, algo que já foi registrado por Paiva e Santos (2024) em solos que receberam gessagem.

A mistura de calcário e gesso evidenciou que nenhum dos dois tratamentos foi capaz de influenciar a acidez ativa do solo entre as camadas amostradas (Tabela 4). Essa resposta também foi constatada por Gomes *et al.* (2024), que observaram que o pH permaneceu estável em amostras compostas, mesmo quando foi realizada a calagem em partes específicas do perfil do solo.

Houve diferença significativa quanto à acidez ativa entre as camadas do solo analisadas (Tabela 5), independente dos tratamentos testados. A camada de 0 a 10 centímetros resultou com menor acidez ativa. Essa variação vertical é comum em Latossolos bastante intemperizados, onde acidez ativa tende a aumentar com a profundidade. Isso acontece porque, há menor quantidade de bases e uma maior presença de cargas positivas ligadas a óxidos de alumínio e ferro nas camadas mais profundas, como explica Veloso *et al.* (2020) no manual da Embrapa sobre correção do solo. A camada superficial costuma ter um pH mais elevado principalmente por causa do manejo agrícola, que inclui a incorporação de resíduos orgânicos, a absorção de nutrientes e a aplicação de corretivos na superfície do solo.

Tabela 5 Valores do pH em cloreto de cálcio entre as camadas amostradas em solo submetido a calagem e gessagem (média dos tratamentos testados)

	pH CaCl ₂ *	
0 a 10 cm	5,50	a
10 a 20 cm	4,97	b

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna.

A variação do pH que foi observada no experimento mostra que a calagem conseguiu corrigir o solo principalmente na camada superficial. Isso aconteceu porque o calcário, por ser pouco solúvel e pouco móvel no perfil do solo, age mais na superfície, tendo efeitos menores nas camadas mais profundas. Segundo Gatiboni *et al.* (2016), em sistemas de plantio direto, a ação da calagem é ainda mais lenta, já que o corretivo fica restrito às primeiras camadas. O pH mais alto na camada de 0 a 10 cm (Tabela 5), confirma esse comportamento.

A camada de 10 a 20 centímetros de profundidade apresentou um pH bem mais baixo, o que reforça a tendência natural de acidez dos Latossolos da região Sul do Brasil. Segundo Streck *et al.* (2018), os Latossolos Vermelhos aluminoférricos têm uma alta quantidade de Al³⁺ em camadas mais profundas, o que ajuda a diminuir o pH

e acaba dificultando o crescimento das raízes das plantas. Além disso, o fato de os tratamentos não terem causado mudanças significativas no pH na camada mais superficial sugere que o tempo entre a aplicação dos insumos e a coleta das amostras pode não ter sido suficiente para provocar alterações químicas mais profundas, especialmente levando em conta a capacidade tamponante desse tipo de solo.

Ocorreu diferença significativa entre os tratamentos e, principalmente, entre as camadas do solo, quanto aos teores de fósforo disponível no solo (Tabela 6). Os teores de fósforo foram mais altos na camada superficial (0 a 10 cm) em comparação com a camada subsuperficial (10 a 20 cm). Essa distribuição em camadas é comum em solos bastantes intemperizados, como o Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico (Streck *et al.*, 2018) avaliado neste estudo. Isso aconteceu por causa da forte interação entre o fósforo e os minerais de argila ricos em ferro e alumínio presentes nesse tipo de solo. Segundo Ernani (2008), esses minerais têm uma grande capacidade de reter fosfatos, especialmente nas regiões mais profundas do solo, onde há menos matéria orgânica e, por isso, menos competição pelos locais de retenção.

Tabela 6 – Teores de fósforo (mehlich-1) em um Latossolo submentido à calagem e a gessagem.

	Fósforo (mg/dm ³) *	
	0 a 10 cm	10 a 20 cm
4 t/ha de calcário inc.	21,54 aA	10,19 aB
1 t/ha de calcário + 3,2 t/ha de gesso	16,31 bA	11,05 aB
1 t/ha de calcário + 1,6 t/ha de gesso	15,76 bcA	11,42 aB
1 t/ha de calcário	14,91 bcA	12,01 aB
3,2 t/ha de gesso	13,76 cdA	10,94 aB
Controle	12,64 dA	10,23 aB
CV (%)	7,27	

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na linha.

A maior quantidade de fósforo na camada superficial do solo indicou onde os fertilizantes foram aplicados ao longo do tempo, além de mostrar a influência da matéria orgânica, que ajudou a bloquear alguns sítios de ferro (Fe) e alumínio (Al), reduzindo sua fixação. No entanto, ao comparar os diferentes tratamentos, pode ser observado um comportamento importante. Nas áreas que receberam calcário, seja incorporado ou na superfície, os teores de fósforo disponível foram mais altos,

consequência de um processo chamado dessorção. Esse processo acontece quando o aumento do pH diminui a força com que os grupos fosfato se ligam aos óxidos de Fe e Al, facilitando a liberação de fósforo da fase sólida para a solução do solo. Segundo o estudo clássico de Meurer (2012), essa dinâmica ocorre porque, ao elevar o pH, as superfícies dos óxidos perdem alguns prótons, o que reduz a afinidade por fosfatos.

O efeito do uso de calcário fica ainda mais claro na aplicação de 4 toneladas por hectare, que mostrou o maior teor de fósforo disponível na camada superficial do solo, chegando a 21,54 mg/dm³. Caires *et al.* (2020) já tinham observado que, ao neutralizar os íons de hidrogênio (H⁺) e diminuir a quantidade de alumínio (Al³⁺), a calagem reduz os pontos de alta energia no solo que prendem o fósforo, facilitando sua liberação. Dessa forma, uma parte do fósforo que antes estava adsorvida nos complexos do solo passou a ficar disponível. Por outro lado, na camada de 10 a 20 centímetros de profundidade, os teores foram menores e bastante semelhantes entre si, indicando que os tratamentos ainda não impactaram nos teores de fósforo disponível em profundidade.

A liberação de fósforo é mais evidente em áreas que já têm algum acúmulo prévio de fósforo disponível, mas isso geralmente não ocorre em profundidade, devido à forte fixação em minerais de ferro e alumínio. Streck *et al.* (2018) destacaram que os solos do Rio Grande do Sul têm uma forte capacidade de reter fósforo na camada mais profunda, especialmente nos Latossolos Aluminoférricos, o que explica por que essas camadas continuam ácidas e com pouca disponibilidade de fósforo.

Mesmo quando foram usados tratamentos que combinavam calcário e gesso, o fósforo na camada subsuperficial continuou limitado. Isso aconteceu porque o gesso, embora ajude a movimentar o Ca²⁺, não muda diretamente o pH nem diminui a força com que os fosfatos adsorvidos nos óxidos.

A aplicação de gesso pode influenciar na forma como o potássio se comporta no solo. Essa influência pode estar relacionada à competição entre os íons de cálcio (Ca²⁺) e potássio (K⁺) nos espaços de troca do solo. Segundo Ernani (2008), quando há um aumento considerável na quantidade de cálcio no complexo de troca, como acontece com a aplicação de gesso, que é altamente solúvel, o cálcio pode deslocar o potássio para a solução do solo. A partir disso pode-se analisar as possíveis ações do tratamento em relação ao teor de potássio (Tabela 7).

Tabela 7 – Teores de potássio (mehlich-1) em um Latossolo submetido à calagem e a gessagem.

	Potássio (mg/dm ³)*
3,2 t/ha de gesso	92,93 a
4 t/ha de calcário inc.	85,43 a
1 t/ha de calcário + 1,6 t/ha de gesso	79,40 ab
Controle	78,53 ab
1 t/ha de calcário	77,11 ab
1 t/ha de calcário + 3,2 t/ha de gesso	65,25 b
CV (%)	14,93

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna.

Estudos, como o de Ramos *et al.* (2013), mostram que a aplicação de gesso pode aumentar a lixiviação de potássio, devido à alta mobilidade do sulfato (SO₄²⁻) e à competição do cálcio pelos sítios de troca no solo. Ao mesmo tempo, embora parte do potássio possa se mover para baixo no perfil do solo, o aumento de cálcio (Ca²⁺) na solução pode ajudar a deslocar o potássio que está adsorvido, levando a um aumento na sua concentração em alguns momentos do ciclo de cultivo.

Apesar dos diferentes níveis de potássio presente nos tratamentos, não ocorreu diferenciação estatística que possa atribuir suporte a alguma afirmação relacionada aos tratamentos e o teor do nutriente. Em contrapartida, os resultados presentes na tabela 8 indicam que houve uma diferença significativa nos teores de potássio (K⁺) entre as camadas de 0-10 cm e 10-20 cm do Latossolo Vermelho Aluminoférrico analisado. Observou-se maior concentração de potássio na camada superficial, enquanto os valores foram consideravelmente menores na camada mais profunda. Esse padrão é típico de solos manejados com práticas conservacionistas, onde a adubação superficial favorece a retenção do nutriente nas camadas superiores, e a mobilidade do potássio para camadas mais profundas é limitada por fatores como a retenção pelos colóides do solo e a competição com outros cátions.

Tabela 8 – Teores de potássio (mehlich-1) nas camadas amostradas, em solo submetido a calagem e gessagem

	Potássio (mg/dm ³)*
0 a 10 cm	110,49 a
10 a 20 cm	49,06 b

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna.

Quando há acúmulo de potássio na camada de cima do solo, isso está ligado ao ciclo natural de nutrientes que acontece na matéria orgânica presente na superfície. À medida que os resíduos de plantas se decompõem, eles liberam potássio na forma de íons K^+ . Segundo Meurer (2012), o potássio é um dos nutrientes que mais facilmente saem durante a decomposição da palhada, o que explica por que os níveis desse nutriente tendem a ficar mais altos nas camadas superiores do solo, especialmente em áreas onde se usa manejo conservacionista ou se faz adubações na superfície.

Por outro lado, a quantidade de potássio (K^+) na camada 10 a 20 cm é baixa mesmo com a aplicação de calcário e gesso no experimento. Isso mostra que, apesar dessas aplicações, o potássio não se moveu significativamente para camadas mais profundas. Ramos *et al.* (2013) explicam que, embora o gesso agrícola ajude a movimentar o cálcio (Ca^{2+}) pelo perfil do solo e possa deslocar o potássio dos locais onde ele fica retido, essa troca nem sempre aumenta o nível de K^+ em profundidade. Isso acontece porque parte do potássio pode ser lavado para além da camada amostrada ou ficar temporariamente preso em formas que não podem ser trocadas. Essa situação pode ser entendida pela competição entre Ca^{2+} e K^+ nos sítios de troca, especialmente com as doses de gesso usadas no experimento.

Quando adicionamos uma grande quantidade de cálcio solúvel, especialmente ao usar 3,2 toneladas por hectare de gesso, isso pode fazer com que o potássio seja levado para a solução do solo, aumentando o risco de lixiviação. Segundo Tiecher *et al.* (2018), solos argilosos em regiões subtropicais podem perder uma quantidade significativa de K^+ quando recebem doses altas de gesso, principalmente se o potássio estiver concentrado na camada superior do solo. Mesmo que parte do potássio seja deslocada dessa camada superficial, sua retenção entre 10 e 20 centímetros de profundidade tende a ser limitada, devido à forte fixação em microagregados e nos sítios de alta energia presentes nos argilominerais.

A diferença estatisticamente significativa que vemos entre as camadas na Tabela 8 reforça a ideia de que o potássio nos solos tropicais intemperizados é organizado em camadas diferentes. Essa organização é influenciada tanto pelo modo como o solo é manejado quanto pelas características naturais do solo. Segundo

Streck *et al.* (2018), os Latossolos do Rio Grande do Sul apresentam uma forte variação de nutrientes trocáveis de cima para baixo, com uma deficiência relativa na camada mais profunda, devido à baixa quantidade de matéria orgânica, maior quantidade de cargas positivas em profundidade e uma alta capacidade de fixação de cátions.

Os teores de cálcio (Ca^{2+}) diferiram entre as camadas do solo amostradas (Tabela 9.). A camada superficial, de 0 a 10 cm, apresentou os maiores teores, enquanto na camada de 10 a 20 cm, os teores foram menores. Essa situação é comum em Latossolos intemperizados, onde o cálcio aplicado com calagem tende a ficar mais concentrado nas camadas superiores do solo. Isso acontece porque os carbonatos presentes nesses solos têm baixa solubilidade, dificultando a movimentação do cálcio para as camadas mais profundas. Segundo Ernani (2008), a mobilidade do Ca^{2+} proveniente do calcário é limitada, já que sua dissolução ocorre lentamente e depende do contato direto entre o corretivo, a umidade do solo e os colóides. Por isso, os efeitos da calagem costumam ser mais evidentes na superfície do solo.

Tabela 9 – Valores de Cálcio entre as camadas amostradas em solo submetido a calagem e gessagem (média dos tratamentos testados)

	Cálcio (cmolc/dm^3)*
0 a 10 cm	5,50 a
10 a 20 cm	3,23 b

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna.

A maior quantidade de Ca^{2+} na camada mais superficial mostra que essa dinâmica está acontecendo de fato, e indica que a calagem não foi capaz de aumentar significativamente o teor desse nutriente em camadas mais profundas. Essa constatação confirma o que foi observado por Caires *et al.* (2006), que verificaram que a aplicação de calcário na superfície, em sistemas de plantio direto, melhora principalmente o nível de cálcio nas camadas de 0 a 5 ou 0 a 10 cm, com pouca ou nenhuma mudança nas camadas mais profundas nos primeiros anos após a aplicação.

Por outro lado, a menor concentração na camada de 10 a 20 centímetros evidenciou que, mesmo com o uso de gesso agrícola em alguns tratamentos do experimento, a movimentação vertical do cálcio ainda foi limitada. Embora o gesso seja conhecido por aumentar o teor de Ca^{2+} no subsolo, em consequência da solubilidade do sulfato de cálcio, esse efeito depende de fatores como a textura do solo, a umidade, o tempo de reação e a quantidade aplicada. Ramos *et al.* (2013) ressaltaram que o uso de gesso ajudou a distribuir melhor o cálcio em profundidade, especialmente em solos de textura média e arenosa. No entanto, em solos argilosos, como os Latossolos, esse processo aconteceu de forma mais lenta e gradual.

A diferença entre as camadas também Segundo Streck *et al.* (2018), os Latossolos do Rio Grande do Sul têm elevados teores de alumínio e pouco cálcio nas camadas mais profundas, o que limita o crescimento das raízes, especialmente quando o manejo não envolve a aplicação de insumos que ultrapassem a superfície.

Outro aspecto importante é que a movimentação vertical do cálcio liberado pelo uso do gesso compete com processos de adsorção nos argilominerais mais profundos. Mesmo quando o Ca^{2+} do gesso chega até a camada abaixo da superfície, uma parte dele pode ficar adsorvida nos colóides, o que diminui a quantidade que realmente aparece na solução durante as análises de laboratório. Tiecher *et al.* (2018) destacaram que os solos subtropicais têm uma grande capacidade de reter cátions por causa dos óxidos de ferro e alumínio presentes neles, o que ajudou a explicar por que os níveis de Ca^{2+} na camada de 10 a 20 centímetros permaneceram baixos.

O teor de magnésio (Mg^{2+}) foi maior na camada de 0 a 10 cm, comparado à camada de 10 a 20 cm (Tabela 10). Isso é comum em Latossolos que receberam manejo agrícola contínuo, especialmente quando houve aplicação superficial de calcário. Segundo Ernani (2008), o magnésio vindo do calcário dolomítico tende a ficar mais concentrado nas camadas superiores do solo, pois ele não se move facilmente pelo perfil. Isso acontece porque o carbonato tem baixa solubilidade e o magnésio se liga fortemente às partículas de carga negativa presentes na matéria orgânica e nas argilas.

Tabela 10 – Valores de Magnésio entre as camadas amostradas em solo submetido a calagem e gessagem (média dos tratamentos testados)

Magnésio (cmolc/dm^3)*

0 a 10 cm	2,87 a
10 a 20 cm	1,53 b

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna.

A maior quantidade de Mg^{2+} na superfície foi influenciada pela calagem. Ela agiu principalmente nos primeiros centímetros do solo, que é onde o calcário é mais efetivo. Essa tendência já foi bastante observada por Caires *et al.* (2006). Eles perceberam que, mesmo meses depois de aplicar calcário em sistemas de plantio direto, os níveis de cálcio e magnésio continuavam altos apenas na camada de 0 a 5 ou 10 centímetros, com pouca mudança em camadas mais profundas.

Além da baixa mobilidade do magnésio, a diminuição dos teores na camada de 10 a 20 centímetros também foi influenciada pela competição entre os cátions. Nos solos onde há uma liberação significativa de cálcio, como no caso do uso de gesso neste estudo, esse íon compete com o magnésio pelos locais de troca no complexo coloidal. Segundo Ramos *et al.* (2013), o cálcio do gesso, por ter maior afinidade pelos sítios de adsorção, consegue deslocar o magnésio, reduzindo sua retenção no subsolo. Ainda assim, parte do magnésio deslocado pode ser lixiviada para além dos 20 centímetros ou ficar temporariamente em formas menos disponíveis, o que explica por que essa camada apresentou os menores valores de magnésio.

Um ponto importante de entender é que o magnésio tende a se fixar mais profundamente em solos bastante intemperizados, como os Latossolos da região de Erechim. Isso aconteceu porque nesses solos predominam argilominerais e óxidos de ferro e alumínio, que têm cargas que variam dependendo do pH. Quanto mais profundo, menor o pH e maior a atividade de íons como Al^{3+} e H^+ , o que faz com que uma parte do magnésio liberado seja mais facilmente adsorvida ou deslocada pelo alumínio ativo. Segundo Streck *et al.* (2018), os Latossolos aluminoferrícos costumam apresentar baixa saturação por bases na camada de subsuperfície justamente por esse mecanismo.

A Tabela 11 indica que houve diferenças importantes nos teores de enxofre (SO_4^{2-}) tanto entre os diferentes tratamentos quanto entre as camadas do solo. Isso evidenciou que a aplicação de gesso agrícola influenciou diretamente como o nutriente se distribuiu ao longo do perfil do solo. Observando os dados, podemos perceber que os maiores teores de enxofre na camada mais superficial foram encontrados nos tratamentos que receberam apenas gesso (3,2 t/ha). Logo depois,

vem o tratamento com 4 t/ha de calcário incorporado, seguido pela aplicação de 1t/ha de calcário + 3,2 t/ha de gesso e finalizando com o tratamento que continha 1 t/ha de calcário, onde eles não se diferiram entre eles. Esses resultados evidenciaram como o sulfato do gesso é altamente solúvel, dissolvendo-se rapidamente e liberando SO_4^{2-} para o solo. Segundo Santos *et al.* (2021), o sulfato é um ânion bastante móvel, capaz de se deslocar facilmente pelo perfil do solo, especialmente em solos com textura média a argilosa.

Tabela 11 – Teores de Enxofre em um Latossolo submentido à calagem e a gessagem.

	Enxofre (mg/dm ³)*			
	0 a 10 cm		10 a 20 cm	
3,2 t/ha de gesso	21,0225	aA	15,625	aB
4 t/ha de calcário inc.	20,3125	abA	16,1925	aB
1 t/ha de calcário + 3,2 t/ha de gesso	19,3175	abA	17,4725	aA
1 t/ha de calcário	18,7475	abcA	18,04	aA
1 t/ha de calcário + 1,6 t/ha de gesso	17,615	bcA	17,8975	aA
Controle	16,05	cA	17,1875	aA
CV (%)	8,19			

* $p \leq 0,05$ significativo pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na coluna. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, na linha.

Os tratamentos com 3,2 t/ha de gesso e 4t/ha de calcário inc. apresentaram diferença significativa entre as camadas. O tratamento com 3,2 t/ha de gesso apresentou maior teor de enxofre na camada 0-10 cm, mas não diferiu da maioria dos outros tratamentos, enquanto o tratamento com 1t/ha de calcário apresentou maior teor de enxofre na camada 10 a 20, porém não diferiu dos demais tratamentos. O gesso agrícola é uma das principais fontes de enxofre em profundidade, devido à alta solubilidade do seu composto ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ramos *et al.* (2013) explicaram que o sulfato do gesso se desloca pelo perfil do solo junto com o fluxo de água, podendo atingir camadas mais profundas e fornecer enxofre diretamente às raízes que estão mais abaixo.

O tratamento controle mostrou os menores níveis de enxofre na superfície do solo, com 16,05 mg/dm³. Isso reforça a ideia de que, sem a adição de uma fonte de enxofre ou sem estimular a mineralização, por meio de correções químicas, a quantidade de enxofre disponível pode não ser modificada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o manejo químico do solo em Latossolos precisa levar em conta tanto a origem e a quantidade dos corretivos quanto a profundidade em que eles atuam. Fazer uma combinação de calagem e gessagem não é apenas uma sugestão, mas uma prática essencial para promover um bom desenvolvimento das raízes e garantir o potencial de produção das culturas agrícolas. Isso mostra que entender como esses corretivos se comportam no perfil do solo é fundamental para tomar decisões agronômicas mais eficazes.

As análises revelaram que a calagem e gessagem aumentaram de maneira evidente o índice SMP na camada de 0 a 10 centímetros, confirmando que ela é eficaz para neutralizar a acidez do solo. Esse resultado mostra que o efeito da calagem é mais forte na superfície, onde o corretivo fica em maior contato com o solo.

O pH teve variações mais suaves, o que mostra que ele muda de forma mais lenta e pode precisar de doses maiores ou de um tempo maior para reagir. Essa tendência faz sentido, já que os Latossolos têm uma grande capacidade tampão, dificultando mudanças rápidas no pH.

O uso de gesso, sozinho ou junto com a calagem, não aumentou o pH do solo, mas trouxe melhorias químicas mais profundas, principalmente ao movimentar cálcio e enxofre. Isso mostra que o gesso ajuda a melhorar as condições do solo, criando um ambiente mais favorável para as raízes nas camadas mais profundas.

O fósforo ficou concentrado nos primeiros 10 centímetros de solo, independentemente do tratamento aplicado, o que mostra que ele tem pouca mobilidade em solos bastante intemperizados. Essa observação reforça a importância de fazer a calagem, pois isso ajuda a diminuir a fixação do fósforo e aumenta sua disponibilidade para as plantas.

Quanto ao potássio, não houve variância significativa entre a maioria dos tratamentos, enquanto houve diferença clara na média em relação as camadas, dessa forma, tanto os tratamentos envolvendo somente calcário ou gesso e o associado trouxeram os mesmos benefícios ao solo. principalmente na quantidade maior aplicada. Isso indica que a competição entre os cátions, que é estimulada pelo cálcio presente no gesso, pode ajudar a melhorar a movimentação do potássio no solo.

Os níveis de cálcio e magnésio continuaram mais altos na camada superficial, como era de se esperar após a aplicação de corretivos. O enxofre teve um aumento

significativo nos tratamentos tanto com calcário e também com o gesso, mostrando que o sulfato é bastante móvel e consegue se mover pelo perfil do solo. Isso ajuda a levar esse nutriente para as camadas mais profundas do solo.

De uma forma geral, os resultados mostram que calagem e gessagem trabalham de forma complementar. A calagem ajuda principalmente a corrigir a acidez na superfície do solo, enquanto a gessagem melhora as condições químicas mais profundas. Juntas, essas práticas são essenciais para aumentar a fertilidade do solo e favorecer o crescimento das raízes das plantas.

Para futuras pesquisas, seria interessante estudar como diferentes combinações de doses de calcário e gesso afetam os sistemas de manejo agrícola ao longo do tempo. Isso ajudaria a entender melhor a forma como os nutrientes se comporta ao longo de vários ciclos de cultivo.

6 REFERÊNCIAS

- ALVES, E. Produtores de arroz no RS apostam no condicionamento do solo para a safra 20/21. **Revista Cultivar**, 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/produtores-de-arroz-no-rs-apostam-no-condicionamento-do-solo-para-a-safra-20-21>. Acesso em: 12 out. 2024.
- ANDERSON, G. *et al.* Short- and long-term effects of lime and gypsum applications on acid soils in a water-limited environment: 1. grain yield response and nutrient concentration. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1213, 18 ago. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/8/1213>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- BASSO, C.; NUERNBERG, N.; RECH, D. **Usos do gesso agrícola**. EPAGRI, 2018. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/415>. Acesso em: 18 set. 2024.
- BESEN, M. R. *et al.* Lime and phosphogypsum application management: changes in soil acidity, sulfur availability and crop yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/kpRshbbzsGSXb3HWd7jw48z/>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- BOSCHIERO, B. A. **Gessagem**: importância, resposta das culturas, cálculo de gessagem e 4 diferenças para a calagem. Agroadvance, 2022. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-gessagem-importancia-diferencas-calagem/>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- BOSSOLANI, J. W. *et al.* Long-Term Lime and Phosphogypsum Amended-Soils Alleviates the Field Drought Effects on Carbon and Antioxidative Metabolism of Maize by Improving Soil Fertility and Root Growth. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.650296>. Acesso em: 01 nov. 2025.
- CABALLERO, E. *et al.* Conteúdo nutricional de pastagem com adubação fosfatada em solos calcários. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 1, p. 87-95, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/ZkYTYyQ7N6CtTtMSZvmyYtx/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 13 out. 2025.
- CAIRES, E. F. *et al.* Aplicações de gesso e calcário melhoram a fertilidade do solo sob cultivo de coco na Amazônia Oriental, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/R3dxwBQRDHHTFGH5Rvwpryy/>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- CAIRES, E. F. *et al.* Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Sci. Agric.** v.63, n.4, p.370-379, Piracicaba, Braz, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/bx88mkSpdfgZPyMSRRPH4tt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- CASTRO, H. K. D. **Vinte e um anos de plantio direto no cerrado**: comportamento do milho em função da calagem, gessagem, culturas de cobertura e adubação

nitrogenada – safra 2021/22. Ilha Solteira, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/0e8726f2-271e-4013-a14e-7b418885ff49>. Acesso em: 12 out. 2024.

COSTA, R. F. **Cálculo de Gessagem**: O Guia Completo para Soja e Milho. AEGRO, 2019. Disponível em: <https://aegro.com.br/blog/calculo-de-gessagem/>. Acesso em 07 nov. 2025.

ENESI, R. O. *et al.* *Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability – a meta-analysis*. **Frontiers in Agronomy**, v. 5, art. 1194896, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/agronomy/articles/10.3389/fagro.2023.1194896/full>. Acesso em: 13 out. 2025.

ERNANI, P.R. **Química de solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, Paulo Ernani, 2008. 230p.

ESCOSTEGUY, P. A. V. *et al.* **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. Disponível em: https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

FAO. **Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta**: FAO pede reversão da degradação do solo. FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/>. Acesso em: 22 fev. 2025.

FAO. **Status of the world's soil resources: main report**. Roma: FAO, 2015. 650 p. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/f16010ce-1874-4108-bd03-a6a592e2e53a>. Acesso em: 5 out. 2024.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 12 dez. 2025.

GATIBONI, L. C. *et al.* **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. Disponível em: https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

GOMES, M. S.; *et al.* Aplicações de gesso e calcário melhoram a fertilidade do solo sob cultivo de coco na Amazônia Oriental, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 48, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/R3dxwBQRDHYTFGH5Rvwpryy/?lang=en>. Acesso em: 01 nov. 2025.

GONÇALVES, J. R. P. *et al.* Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, 2011. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/3659>. Acesso em: 9 nov. 2024.

GUEDES JUNIOR, F. A. **Gesso agrícola: efeitos no crescimento radicular e no rendimento de grãos da soja.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/3496/5/Francisco_Guedes%20Junior2017.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

MACHADO, A. W. **Como as raízes absorvem nutrientes? Como os nutrientes são transportados para a planta?** Agrolink, 2024. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/aspectos-gerais/nutricao-via-raizes---anatomia--absorcao-e-transporte-de-fertilizantes_361458.html. Acesso em: 9 nov. 2024.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo.** 5. ed. Porto Alegre: 2012. 280 p.

MONZON, A. D. D. *et al.* Resposta das culturas de milho e soja à aplicação de gesso com calcário em sistema de plantio direto. *Revista Cultivando o Saber*, v. 15, p. 105–118, 2022. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1128/1019>. Acesso em: 27 out. 2025.

NARAYAN, O. P. *et al.* Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, v. 18, n. 1, Article 2030082, 2023. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/15592324.2022.2030082?needAccess=true>. Acesso em: 13 out. 2025.

NASCIMENTO, R. **Calagem e gessagem com e sem incorporação em latossolo vermelho sob plantio direto.** Londrina: [s. n.], 2018. Disponível em: <https://repositorio.uel.br/items/4e4645b5-4a94-4f25-a699-39d2c1aba31b>. Acesso em: 19 out. 2024.

OLEGO, M. A. *et al.* Assessing the effects of soil liming with dolomitic limestone and sugar foam on soil acidity, leaf nutrient contents, grape yield and must quality in a Mediterranean vineyard. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2016. Disponível em: <https://sjar.revistas.csic.es/index.php/sjar/article/view/8406>. Acesso em: 9 nov. 2024.

OLIVEIRA, D. B. *et al.* Lime and gypsum rates effects in newly converted soybean areas in the Cerrado of Matopiba, Brazil. *Agriculture*, v. 14, 1034, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1165245/1/LimeGypsumRatesEffectsNewSoybeanAgriculture14.2024.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2025.

OLIVEIRA, D. B. **Efeito das doses de calcário e gesso em áreas de abertura com soja no Cerrado do Matopiba.** [s. n.], 2024. Disponível em:

<https://www.ufpi.br/ultimas-noticias-ufpi/56860-pesquisa-da-ufpi-utiliza-calcario-e-gesso-em-areas-de-plantio-de-soja-do-cerrado-brasileiro>. Acesso em: 11 out. 2024.

OLLIKAINEN, M. *et al.* Gypsum and structure lime amendments in boreal agricultural clay soils: Do climate emissions compromise water quality benefits? **Agricultural and Food Science**, v. 33, n. 2, p. 90-115, 2024. Disponível em: <https://journal.fi/afs/article/view/143577>. Acesso em: 16 out. 2025.

PAIVA, J. C.; SANTOS, S. T. Efeito de diferentes doses de gesso agrícola na produção de *Urochloa decumbens* e na porosidade do solo. **Revista PesquisAgro**, v. 8, n. 1, p. 31–39, 2024. Disponível em: <https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/agro/article/view/888/786>. Acesso em: 27 out. 2025.

PEREIRA, R. M. *et al.* Comparação de cultivares de soja no sudoeste goiano em resposta à aplicação de diferentes doses de cloreto de potássio. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4132-4144, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23001>. Acesso em: 13 out. 2025.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2020.

RABEL, D. O. *et al.* Distribuição de alumínio trocável em profundidade nos solos ácidos: um estudo em áreas subtropicais do Brasil. **Agronomy Science**, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/vmcGPpm7QB8NxpTbNrHswS/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

RAMOS, B. Z. *et al.* Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 141–149, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/fxJYH8F9xDdMg3kfYKJzCyD/?lang=pt>. Acesso em: 9 nov. 2024.

RAMPIM, L. **Atributos químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico submetido a gessagem e cultivado com trigo e soja em semeadura direta**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1333>. Acesso em: 2 jul. 2025.

RIBEIRO, F. P. **Desafios e estratégias para conservação do solo**. UNB, 2024. Disponível em: <https://noticias.unb.br/artigos-main/7261-desafios-e-estrategias-para-conservacao-do-solo>. Acesso em: 19 out. 2024.

RODRIGUES, N. C.; CORREIA, D. **A química dos solos**: uma perspectiva de aprendizagem ativa. UFSM, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/5028>. Acesso em: 15 set. 2024.

SANTOS, A. C. *et al.* Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com o tempo de incubação. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 549–558, 2021.

SANTOS, D. R. D. *et al.* **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. Disponível em: https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

SANTOS, J. Q. **Fertilização**: fundamentos agroambientais da utilização dos adubos e corretivos. 1. ed. Lisboa: Publindústria, 2015. 537 p.

SILVA, L. S. D. *et al.* **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. Disponível em: https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

STEFFEN, G. P. K. *et al.* **A importância do solo para a sustentação da vida no planeta Terra**. Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2024. 24 p. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/20101616-ebook-a-importancia-do-solo-para-a-sustentacao-da-vida-no-planeta-terra.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

STRECK, Edemar Valdir *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed. rev. e ampl. Porto Alegre; Emater/RS Ascar, 2018. 252 p.

SUN, S.-K.; CHEN, J.; ZHAO, F.-J.; CUYPERS, A. *Regulatory mechanisms of sulfur metabolism affecting the uptake, distribution and tolerance to toxic metals and metalloids in plants*. **Journal of Experimental Botany**, v. 74, n. 11, p. 3286–3299, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erad074>. Acesso em: 16 out. 2025.

SUSIN, F. M. C. *et al.* *Soil chemical parameters with the use of agricultural gypsum and effects on the apple tree crop*. **International Journal of Plant Biology**, v. 14, n. 4, p. 986–997, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2037-0164/14/4/72>. Acesso em: 16 out. 2025.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, 1995. Disponível em: <https://rolas.cnpt.embrapa.br/publico/pManual>. Acesso em: 15 mar. 2025.

TIECHER, T. *et al.* *Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: a systematic review*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170025, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ctHCYSdopf6Lwh3yJHMXkxzj/?lang=en>. Acesso em: 20 jun. 2025.

TIECHER, T. *et al.* **Química do Solo**. 1. ed. Santa Maria: 2023. 320 p.

VELOSO, C. A. C. *et al.* **Correção da acidez do solo**. Brasília: Embrapa, 2020.

VENTURA, B. S. *et al.* *Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal onion plants cultivated under no-till and conventional tillage.* **Crop & Pasture Science**, v. 71, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/4wY3vDSxgfnGdT7VfVNqt8t/?lang=en>. Acesso em: 16 out. 2025.

VIAN, A. L. *et al.* **Boletim Agrônômico**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Andre-Luis-Vian-2/publication/376682167_Boletim_Agronomico/links/65834db03c472d2e8e773b54/Boletim-Agronomico.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

YANG, M. *et al.* *Effects of balancing exchangeable cations Ca, Mg, and K on the growth of tomato seedlings (Solanum lycopersicum L.) based on increased soil cation exchange capacity.* **Agronomy**, v. 14, n. 3, Art. 629, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/3/629>. Acesso em: 20 out. 2025.

ZENDA, T.; LIU, S.; DONG, A.; DUAN, H. *Revisiting sulphur. The once neglected nutrient: its roles in plant growth, metabolism, stress tolerance and crop production.* **Agriculture**, v. 11, n. 7, art. 626, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/7/626>. Acesso em: 13 out. 2025.

7 APÊNDICE

Figura 2 – Registro fotográfico 1

Posicionamento das
estacas



Trado calador



Coleta de solo



Trado calador



Fonte: Silva (2025).

Figura 3 – Registro fotográfico 2

Secagem do solo



Separação
granulométrica



Separação e
identificação do solo



Medição da massa do
solo



Fonte: Silva (2025).

Figura 4 – Registro fotográfico 3

Preparo das amostras

Adição de solução
extratoraSolução de solo em
decantaçãoAmostras
destinadas à
filtração

Fonte: Silva (2025).

Figura 5 – Registro fotográfico 4Solução para
leitura de cálcio e
magnésio

Digestão para enxofre

Evaporação para
determinação de
enxofre

Leitura de potássio



Fonte: Silva (2025).