



PEDRO FRANCISCO LOPES GIOVANI

**IMPACTO RESIDUAL DA CALAGEM EM SUPERFÍCIE E
INCORPORADA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO AO LONGO
DO PERFIL**

**LAVRAS - MG
2025**

**IMPACTO RESIDUAL DA CALAGEM EM SUPERFÍCIE E
INCORPORADA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO AO
LONGO DO PERFIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira

Orientador

Eng. Agron. Vítor Soares Olivério de Moraes

Coorientador

LAVRAS – MG

2025

PEDRO FRANCISCO LOPES GIOVANI

**IMPACTO RESIDUAL DA CALAGEM EM SUPERFÍCIE E
INCORPORADA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO AO
LONGO DO PERFIL**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Curso de Agronomia, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira

Orientador

Eng. Agron. Vítor Soares Olivério de Moraes

Coorientador

LAVRAS – MG

2025

RESUMO

Atualmente, com o crescimento populacional, a demanda mundial por alimentos tem aumentado consideravelmente. O Brasil se destaca globalmente na produção de alimentos, especialmente no caso dos cereais e leguminosas. Como os solos brasileiros são, em sua maioria, ácidos, torna-se necessária a prática de calagem antes da implementação dos sistemas de produção sob sistema de plantio direto (SPD). Após a adoção do SPD, para respeitar o princípio de não revolvimento do solo, recomenda-se que o calcário seja aplicado na superfície, sem incorporação. Todavia, ainda existem dúvidas entre os profissionais da área sobre a eficiência da calagem em superfície e a necessidade de reabertura de áreas para a correção da acidez no perfil do solo. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de calcário aplicadas em superfície e incorporado, nos atributos químicos do solo e na produtividade do sorgo. O experimento foi instalado em maio de 2019, no município de Uberlândia, Minas Gerais, sob um latossolo vermelho amarelo, com textura franco argilosa-arenosa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por cinco doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 Mg.ha⁻¹) aplicadas em superfície (sem incorporação) e um tratamento adicional de 8 Mg.ha⁻¹ com incorporação do corretivo, totalizando 24 parcelas com 200 m² cada. A aplicação foi feita pelo método gravitacional, utilizando o distribuidor de calcário Bruttus®. Após 43 meses foram realizadas amostragens de solo nas profundidades de 0,00 a 0,10 m, de 0,10 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m, para análise química além da avaliação da produtividade de grãos. Os dados obtidos nos tratamentos em superfície foram submetidos a análise de variância e a regressão quando significativo a $p < 0,05$, já o tratamento adicional quando significativo foi realizado o teste de Dunnett, utilizando-se o tratamento com 8 Mg.ha⁻¹ incorporado como controle. Houve aumento nos teores de Ca, Mg, V% e produtividade para as diferentes doses em superfície. O tratamento adicional (8 Mg ha⁻¹ incorporado) apresentou incremento em comparação com os outros tratamentos em relação aos atributos químicos do solo e a produtividade. Portanto, conclui-se que, nesse ambiente, a aplicação de calcário em superfície, sem incorporação, foi capaz de alterar quimicamente o solo até a profundidade de 0,40 m. No entanto, a aplicação de calcário com incorporação proporcionou um acréscimo ainda maior nas características químicas do perfil do solo e na produtividade, tornando viável a reabertura da área.

Palavras-chave: Manutenção; Fertilidade; Nutrientes.

ABSTRACT

Currently, with population growth, the global demand for food has increased considerably. Brazil stands out globally in food production, especially in the case of cereals and legumes. Since Brazilian soils are mostly acidic, liming is necessary before implementing production systems under a no-till system (NTS). After adopting the NTS, to comply with the principle of no soil disturbance, it is recommended that lime be applied to the surface without incorporation. However, there are still doubts among professionals in the field regarding the efficiency of surface liming and the need to reopen areas for soil profile acidity correction. This study aims to evaluate the effect of different lime rates applied on the surface and incorporated into the soil on its chemical attributes and sorghum productivity. The experiment was established in May 2019 in the municipality of Uberlândia, Minas Gerais, on a Yellow-Red Latosol with a sandy clay loam texture. The experimental design used was a randomized block design (RBD) with four replications. The treatments consisted of five lime rates (0, 2, 4, 6, and 8 Mg.ha⁻¹) applied to the surface (without incorporation) and an additional treatment of 8 Mg.ha⁻¹ with incorporation, totaling 24 plots of 200 m² each. The application was carried out using the gravitational method with the Bruttus® lime spreader. After 43 months, soil samples were collected at depths of 0.00 to 0.10 m, 0.10 to 0.20 m, and 0.20 to 0.40 m for chemical analysis, in addition to grain productivity evaluation. Data from surface treatments were subjected to variance analysis and regression when significant at $p < 0.05$. For the additional treatment, when significant, Dunnett's test was performed using the 8 Mg.ha⁻¹ incorporated treatment as the control. There was an increase in Ca, Mg, base saturation (V%), and productivity for the different surface-applied rates. The additional treatment (8 Mg.ha⁻¹ incorporated) showed an increase compared to the other treatments in terms of soil chemical attributes and productivity. Therefore, it is concluded that, in this environment, surface lime application without incorporation was able to chemically alter the soil down to a depth of 0.40 m. However, lime application with incorporation resulted in an even greater improvement in the chemical characteristics of the soil profile and productivity, making the reopening of the area feasible..

Keywords: Management; Fertility; Nutrients.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Sistema de plantio direto.....	3
2.2 Acidez do Solo.....	4
2.3 Efeitos da calagem em solos sob sistema de plantio direto	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Caracterização da área experimental	7
3.2. Implantação e avaliação dos resultados	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1 Efeitos da calagem nos teores de cálcio do solo	11
4.2 Efeitos da calagem nos teores de magnésio do solo	18
4.3 Efeitos da calagem nos teores de saturação por bases (V%) do solo.....	19
4.4 Efeitos da calagem nos teores de micronutrientes do solo	20
4.5 Produtividade acumulada das culturas de soja, girassol e sorgo	22
5. CONCLUSÃO	20
6. REFERÊNCIAS:.....	21

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me conceder saúde, sabedoria e a oportunidade para realizar um grande sonho e por ter colocado pessoas extraordinárias nesse caminho, que no fim se tornaram grandes amigos.

Agradeço imensamente à minha família, em especial aos meus pais, João Francisco e Soraia, e meus irmãos, Ana Clara e Luis Felipe, por todo o apoio e incentivo durante toda a trajetória acadêmica.

À minha namorada, Maria, pela parceria, não só nos momentos bons, mas também nos frequentes desafios que trazem as grandes mudanças.

Ao Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira, por toda a orientação, cuidado e ensinamento durante esse período.

Ao Eng. Agron. Vítor Olivério por todo auxílio e frequente esclarecimento de dúvidas durante a condução deste trabalho.

Ao Eng. Agron. Josias Gaudencio que sempre esteve disposto a ajudar e ensinar durante a realização de projetos acadêmicos.

A todos os membros do Grupo de Pesquisa em Manejo de Produção (GMAP) pela amizade e vivências.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), que há 116 anos é palco na formação de profissionais competentes e que contribuem para o desenvolvimento do país.

À AMPAR, pelo suporte financeiro oferecido que permitiu a realização do trabalho.

A toda minha família e amigos que de alguma forma colaboraram com essa trajetória.

1 INTRODUÇÃO

Espera-se que o mundo alcance a marca de 8,5 bilhões de habitantes em 2030 e 9,7 bilhões em 2050 (ONU, 2022). Diante desse cenário, a demanda global por alimentos aumentará consideravelmente, e o Brasil, como um dos principais produtores agrícolas, ganha destaque no contexto internacional. Segundo o estudo 'Projeções do Agronegócio, Brasil 2022/2023 a 2032/33', realizado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a produção de grãos no Brasil deverá crescer 24,1% nos próximos dez anos, alcançando aproximadamente 390 milhões de toneladas. Além disso, a área cultivada com grãos deve expandir-se para 81,4 milhões de hectares, um aumento de 1,5 milhão de hectares em relação aos atuais 79,9 milhões (CONAB, 2024).

Esse aumento na produção agrícola e na área cultivada coloca ainda mais em evidência a necessidade de estratégias eficazes para garantir a sustentabilidade do setor. O compromisso com a sustentabilidade tornou-se um argumento fundamental, com um número crescente de instituições e empresas do agronegócio implementando boas práticas para equilibrar a produção e a conservação dos recursos naturais.

Com o objetivo de enfrentar os desafios impostos por esse crescimento e, ao mesmo tempo, preservar os recursos naturais e melhorar a eficiência da produção, surgiram práticas agrícolas como o Sistema de Plantio Direto (SPD) e o Plantio Direto (PD) (Gassen, 2010). Introduzido na região Sul na década de 1970, esse método revolucionário na agricultura brasileira baseia-se em três princípios fundamentais: mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente do solo com palha ou plantas vivas e rotação de culturas (Passomai et al., 2022).

Diante do cenário de solos originalmente ácidos e pobres em nutrientes no Brasil, é relevante destacar que uma das principais práticas para o aumento da produtividade e resiliência das culturas concentra-se no uso de calcário para a construção e manutenção da fertilidade do solo (Moraes *et al.*, 2023). No manejo da fertilidade em áreas sob SPD, o calcário é aplicado sobre a superfície, sem incorporação, pois um dos pilares do sistema é o mínimo revolvimento do solo. O manejo correto da calagem na superfície em SPD permite a correção da acidez nas camadas superficiais e no subsolo. Além disso, promove a deposição de resíduos vegetais na superfície e o aumento do teor de matéria orgânica (MO) no solo, ambos com impacto positivo na produtividade (Caires, 2013).

Em contrapartida, tem sido recomendada a reabertura de muitas áreas cultivadas sob SPD com nova incorporação de calcário, especialmente nas regiões onde a recomendação da dose e a incorporação do corretivo não foram realizadas de forma adequada antes da adoção do SPD. Contudo, ainda não existem critérios técnicos estabelecidos que fundamentem essas decisões, as quais envolvem um significativo investimento por parte dos produtores.

Nesse contexto, existem algumas dúvidas frequentes entre os produtores em relação aos efeitos da aplicação do corretivo ao longo do tempo. A primeira hipótese é que, após a aplicação de calcário, uma parte do produto permanece na forma residual no solo, sem reagir, o que levaria à necessidade de doses maiores para garantir a eficácia do tratamento. A segunda hipótese questiona se, após certo período, há a necessidade de reabrir áreas que apresentam baixas produtividades devido à acidez do solo e aos teores baixos de Ca e Mg e, caso afirmativo, qual seria a dose adequada de calcário a ser aplicada.

Visando contribuir para as questões apresentadas, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de calcário em superfície e uma dose incorporada, após 43 meses da aplicação, nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis do solo, na disponibilidade de nutrientes e na produtividade das culturas de soja, girassol e sorgo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema de Plantio Direto

A expansão e a relevância do SPD no Brasil têm crescido paralelamente à crescente preocupação mundial com a sustentabilidade e a redução da emissão de carbono na atmosfera. Alinhado a essa demanda, é importante destacar que as principais vantagens da adoção do SPD incluem a melhoria na estrutura e porosidade do solo; controle eficaz da erosão; retenção de umidade; redução da variação térmica na superfície do solo; preservação e incremento da matéria orgânica (MO) no solo; e maior eficiência no uso da água (Resende, 2011).

Em comparação com solos sob cultivos convencionais, a utilização do sistema de plantio direto apresenta solos com maiores índices de carbono da biomassa microbiana (Dadalto et al., 2015). A aplicação da rotação de culturas no sistema de plantio direto aumenta a atividade microbiana do solo e a produção de enzimas catalisadoras das reações metabólicas intracelulares, promovendo a decomposição de resíduos orgânicos, a ciclagem de nutrientes, a formação de substâncias húmicas e a estruturação do solo. A maior biodiversidade da microbiota do solo, aliada à presença dessas enzimas, resulta em produtividades elevadas das culturas e pode explicar diferenças observadas em ambientes com concentrações semelhantes de atributos químicos do solo (Mendes et al., 2021).

Atendendo a uma das premissas do SPD, que é o não revolvimento do solo, a correção da acidez do solo, por meio da calagem, é realizada de forma superficial, sem incorporação. Isso difere do sistema de cultivo convencional, no qual o calcário é incorporado ao solo por meio de práticas de preparo (Caires, 2013; Resende, 2016). Assim, para alcançar altas produtividades de forma sustentável com a adoção do SPD, é necessário utilizar doses adequadas de corretivos no momento de seu estabelecimento. Isso ocorre porque o principal corretivo utilizado para a neutralização do alumínio e do hidrogênio, o calcário, apresenta baixa solubilidade em água (CaCO_3 : $0,00616 \text{ g L}^{-1}$ e MgCO_3 : $0,0157 \text{ g L}^{-1}$ a 25°C) e baixa mobilidade no solo (Moreira, 2019).

2.2 Acidez do solo

Existem três tipos de acidez presentes nos solos: acidez ativa, acidez trocável e acidez não trocável (Raij, 2011). Entende-se por acidez ativa os íons H^+ dissociados na solução do solo. Por outro lado, a acidez trocável, muito comum nos solos brasileiros, é representada pelos íons alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+) retidos na superfície dos coloides por forças eletrostáticas. Por fim, a acidez não trocável refere-se ao hidrogênio em ligação covalente, ligado aos coloides com carga negativa e aos compostos de alumínio (Lopes; Guilherme, 2016).

Solos de regiões tropicais e subtropicais tendem a ser naturalmente ácidos e apresentam altos teores de Al^{3+} (Ciotta Et Al., 2004; Raij, 2011). Em consequência do intenso processo de intemperismo, favorecido pelo clima tropical, os solos brasileiros apresentam baixos níveis de bases, isto é, os elementos cálcio, magnésio e potássio em suas formas catiônicas são encontrados em concentrações menores do que as ideais para altas produtividades (Fageria, 2001).

Outros fatores que causam a acidificação do solo, além da acidez natural oriunda do processo de intemperismo, estão relacionados aos sucessivos cultivos agrícolas. A exportação de bases, como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), pelas plantas, e as adubações minerais, principalmente com fontes amoniacais, aumentam significativamente o processo de acidificação do solo (Souza et al., 2007). Nos solos do Cerrado brasileiro, essas bases são substituídas por Al^{3+} e H^+ . O alumínio, por sua vez, é tóxico e afeta negativamente o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes. A combinação entre a acidez do solo e a toxicidade do alumínio reduz significativamente a produção, devido ao menor desenvolvimento das raízes e à absorção de nutrientes (Foloni et al., 2008).

2.3 Efeitos da calagem em solos sob sistema de plantio direto

Para o sucesso do SPD, é essencial corrigir a acidez do solo com doses adequadas na preparação da área. Atualmente, o principal produto utilizado para esse fim é o calcário, que é o insumo responsável por neutralizar o alumínio e o hidrogênio livre no solo, além de elevar os níveis de Ca, Mg e pH aos teores desejados (Moraes et al., 2023).

Nesse contexto, um dos desafios no Brasil é a existência de áreas sob SPD, que não receberam um manejo apropriado de calagem, nem a incorporação em profundidade de doses adequadas de calcário. Essa situação poderá resultar em problemas futuros de produção, exigindo que o solo seja corrigido e revolvido, o que contraria um dos princípios fundamentais do sistema: o não revolvimento do solo. Além disso, calagens superficiais realizadas sem critérios e intervalos corretos podem elevar o pH da camada superficial, alcançando valores entre 6,0 e 7,0, o que desfavorece a solubilização do calcário e dificulta a correção em profundidade (Allen e Hossner, 1991; Miller, 2015; Penn, 2019). Esse aumento do pH para níveis próximos a 7,0 também interfere nos níveis de micronutrientes metálicos, levando à sua redução (Rhoton, 2000).

A aplicação superficial de calcário, sem incorporação, é influenciada por diversos fatores, como o regime hídrico, as condições físicas do solo e os teores de MO, que podem favorecer ou limitar sua mobilidade (Caires, 2013). Diferentemente do método de incorporação, no qual o calcário é misturado ao solo e distribuído em profundidade, a aplicação superficial apresenta resultados mais lentos em camadas subsuperficiais. Observou-se em um experimento, que as alterações nos atributos químicos do solo ocorreram na camada de 0,00 a 0,05 m apenas após seis meses da aplicação, enquanto respostas em camadas mais profundas só foram constatadas entre 18 e 30 meses (Cambri, 2004).

Nas áreas onde o SPD foi implementado corretamente, o manejo adequado de calagem na superfície contribui para a correção da acidez tanto nas camadas superficiais quanto no subsolo. Esse processo, juntamente com a deposição de resíduos vegetais na superfície e o aumento do teor de MO no solo exercem uma influência positiva sobre a produtividade (Caires, 2013). A calagem em superfície melhora a fertilidade do solo através do aumento do pH e da disponibilidade de P, Ca²⁺ e Mg²⁺ em todo o perfil do

solo e aumenta a resiliência das culturas a períodos de estresses hídricos (Bossolani *et al.*, 2022; Bossolani *et al.*, 2021; Moraes *et al.*, 2023; Moreira, *et al* 2024).

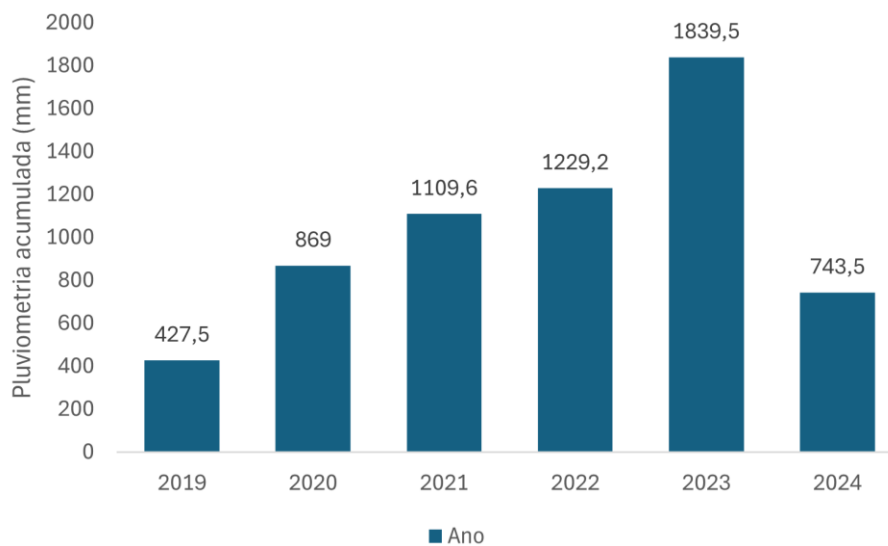
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

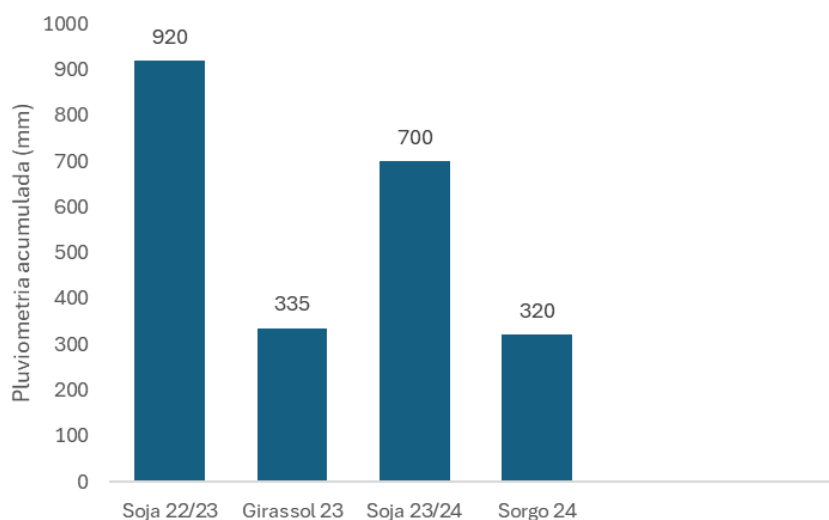
O experimento foi conduzido na Fazenda Rocinha, localizada no município de Uberlândia - MG, situada à latitude -19.101176, e longitude - 47.979345 e altitude de 886 m. O trabalho foi instalado em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura média (Santos *et al.*, 2018). No período que compreende desde a aplicação do calcário 25/05/2019 até a colheita da segunda safra, em 14/07/2024, houve um acúmulo de 6218 mm de precipitação (Figura 1).

Para o presente trabalho foram utilizados os dados de produtividade referentes às culturas da soja, girassol e sorgo. Na safra 2022/2023 foi plantado a cultura da soja e na segunda safra de 2023 o girassol. Na safra seguinte, 2023/2024 também foi cultivado a soja e na segunda safra de 2024, o sorgo. A precipitação acumulada de cada uma das safras encontra-se na (Figura2).

Figura 1 – Precipitação pluviométrica em cada ano, após a implantação do experimento até a colheita da safrinha 2024.



Fonte: Agrymax.

Figura 2 – Precipitação pluviométrica acumulada por safra.

Fonte: INMET.

O primeiro ano de cultivo da área foi em 2003 e antes da implantação do experimento, a área estava sob SPD consolidado com mais de 12 anos sem revolvimento do solo. As propriedades químicas e granulométricas do solo são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1- Propriedade químicas do solo antes da instalação do experimento.

Prof. m	pH (CaCl ₂)	P (Mehlich-1) mg.dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn
				cmolc.dm ⁻³					%			mg.dm ⁻³			
0,0-0,1	4,8	4,4	0,1	2,1	0,6	0,2	1,8	4,8	61,0	1,7	0,3	0,8	46,2	20,4	1,6
0,1-0,2	4,8	1,3	0,1	1,5	0,4	0,2	2,1	4,3	48,8	1,3	0,2	0,9	55,7	10,5	1,2
0,2-0,4	4,4	4,4	0,4	1,0	0,2	0,2	2,1	3,9	43,6	1,3	0,2	1,0	30,4	14,6	3,0

Fonte: Do autor (2025).

Tabela 2. Granulometria total do solo em diferentes profundidades.

Profundidade	Argila	Areia	Silte	Classificação textural
		%		
0,0–0,2	20,7	64,7	14,6	Franco argilosa-arenosa
0,2–0,4	22,0	66,3	11,7	Franco argilosa-arenosa

Fonte: Do autor (2025).

3.2. Implantação e avaliação dos resultados.

Os experimentos foram instalados em delineamento em blocos casualizados e os tratamentos foram compostos por cinco doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 Mg.ha⁻¹) aplicadas em superfície (sem incorporação) e uma aplicação de 8 Mg g ha⁻¹ com incorporação do corretivo, com 4 repetições totalizando-se 24 parcelas. O Calcário aplicado apresentava 35% de CaO, 16% de MgO, 90% de reatividade (RE), 109% de poder neutralizante e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 98%. O tamanho de cada parcela foi de 10 metros (correspondente a duas passadas do distribuidor de calcário Bruttus®) de largura por 20 metros de comprimento (200 m²).

A implantação do experimento, com a demarcação da área e a aplicação das doses de calcário ocorreu no dia 25/05/2019. O calcário foi distribuído pelo Equipamento Bruttus®, para redução da deriva e perda do corretivo durante a implantação dos experimentos. Todos os demais manejos foram executados de acordo com os tratos culturais padrão da fazenda, como adubação, escolha da cultivar, controle de doenças, pragas e plantas voluntárias. Com o ciclo completo, foram feitas as coletas, o preparo e a quantificação de nutrientes nas amostras de solo e produtividade de cada parcela.

As avaliações dos atributos químicos do solo foram realizadas após 43 meses da calagem, no mesmo dia da colheita do sorgo safrinha 2024. Foram retiradas cinco amostras simples por parcela, sendo três pontos retirados na entrelinha e dois pontos na linha de plantio, nas profundidades isoladas de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20 a 0,40 por meio de trado holandês. As amostras foram enviadas ao laboratório para determinação dos valores de pH, teores de Ca, Mg e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B) para as

camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20 m. Nas camadas de 0,20 a 0,40 metros, as análises concentraram-se no Ca, Mg, saturação por bases (V%) e micronutrientes. Cada etapa do processo seguirá as metodologias estabelecidas previamente por (Silva, 2009).

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a nível de 5% e quando os resultados foram significativos para o teste F, adotaram-se os procedimentos para a análise de regressão, de acordo com (Ramalho *et al.*, 2012). Em sequência, será realizado um contraste de médias usando o Teste de Dunnett ($p < 0,05$), onde o controle foi a dose incorporada de 8 (Mg há⁻¹). O software computacional R versão e os pacotes MVar.pt, Gplot2.pt e ExpDes.pt foram utilizados para realizar todas as análises (R Development Core Team, 2024).

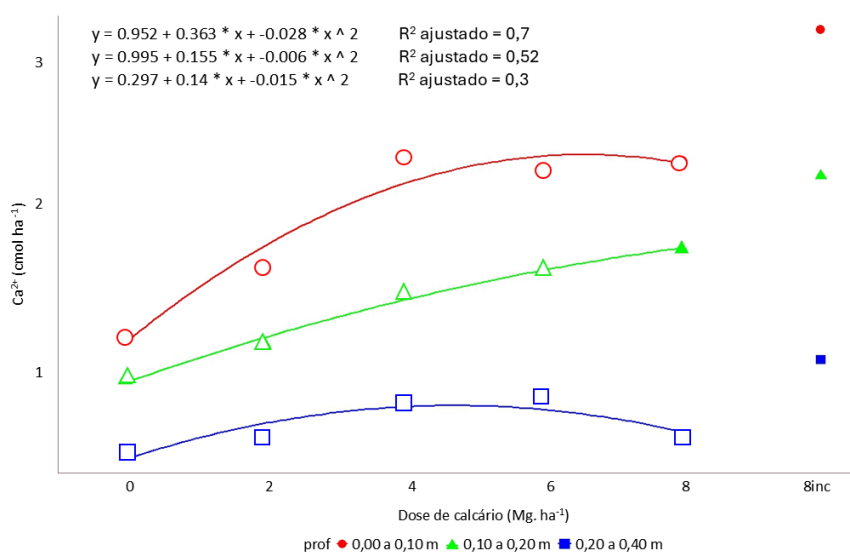
RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeitos da calagem nos teores de cálcio do solo

Os teores de Ca^{2+} na profundidade de 0,00 a 0,10 m apresentaram aumento significativo com a aplicação das doses crescentes de calcário, sendo que o ponto máximo ocorreu com a dose de $6,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto o mínimo foi observado com a dose de 0 Mg ha^{-1} (Figura 3). Na camada de 0,10 a 0,20 m, os teores de Ca^{2+} aumentaram linearmente com as doses aplicadas, sugerindo percolação do calcário para essa camada, após 4 anos da aplicação. Por fim, na camada de 0,20 a 0,40 m, observou-se variação nos teores de Ca^{2+} em função das doses aplicadas na superfície, o que pode ser explicado pelo baixo poder tampão do solo e pelo intervalo de 43 meses após a aplicação.

Os resultados evidenciaram o aumento dos teores de Ca nas camadas 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, tendo em vista que, é possível que ocorra deslocamento mecânico de partículas de calcário através de canais formados por raízes mortas mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo (Pavan, 1994). Além disso, a movimentação de Ca + Mg trocáveis do solo, também pode ser explicado pela formação de complexos orgânicos hidrossolúveis, a partir de ácidos orgânicos liberados dos restos vegetais presentes na superfície do solo (Miyazawa *et al.* 2002).

Figura 3. Teores de Ca no solo em função das diferentes doses de calcário em superfície.



Fonte: Do autor (2025).

No gráfico, os tratamentos que não diferiram estatisticamente da dose incorporada, segundo o teste de Dunnett, foram representados por figuras geométricas preenchidas. Avaliando-se os teores de Ca^{2+} na camada de 0 a 0,10 m, a dose de 8 Mg ha^{-1} incorporada ao solo apresentou um aumento significativo em comparação com as doses aplicadas em superfície. Já na camada de 0,10 a 0,20 m, não houve diferença significativa somente entre a dose incorporada e a dose de 8 Mg ha^{-1} aplicada em superfície. Quanto à camada de 0,20 a 0,40 m, verificou-se o mesmo comportamento da camada de 0 a 0,10 m, com um aumento significativo dos teores de cálcio para a dose incorporada em relação às doses aplicadas em superfície.

Para que os efeitos sejam observados nas camadas subsuperficiais, geralmente é necessário um período de tempo maior em comparação à aplicação de calcário incorporado (Freiria *et al.*, 2008; Filho; Fageria; Zimmermann, 2005; Pöttker; Ben, 1998). A lixiviação dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} para a camada de 0,20-0,40 m foi relatada com a aplicação de 6 a 12 Mg ha^{-1} de calcário incorporado, após três anos de cultivos de arroz e feijão em solo do cerrado, evidenciando que o uso da dose adequada de calcário permite a correção da acidez da camada subsuperficial (Fageria *et al.*, 2001).

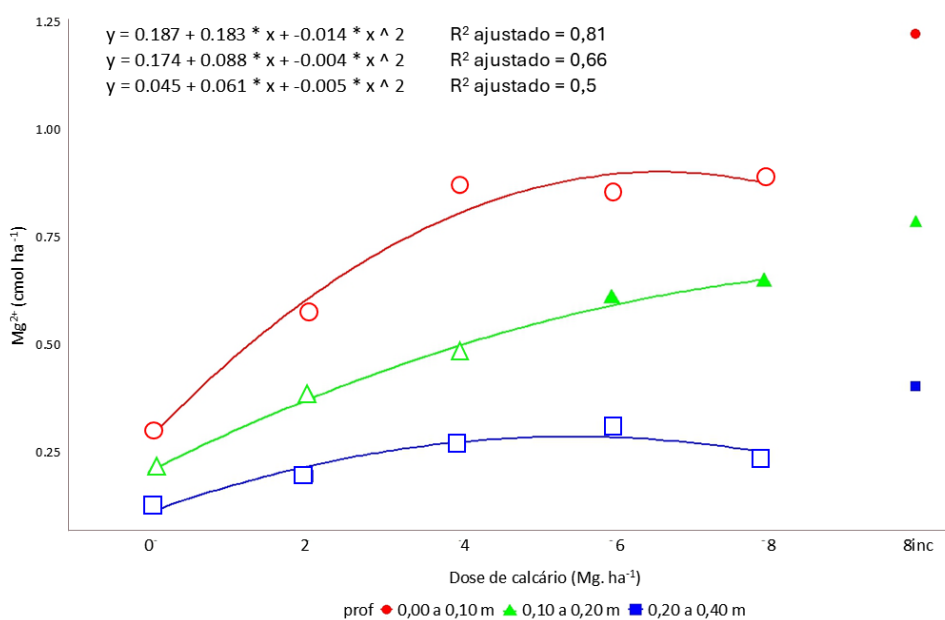
É fundamental ressaltar a importância da incorporação do calcário antes da abertura das áreas, utilizando as doses corretas, para que, após a implementação do SPD, o calcário seja aplicado em superfície sem o revolvimento do solo. Os resultados obtidos sugerem que, quando o calcário é incorporado, maior será seu efeito ao longo do tempo nas camadas inferiores do solo, uma vez que a incorporação do calcário na camada de 0 a 0,40 m aumenta a área de contato do corretivo com o solo e, por consequência, eleva sua reatividade (Fageria; Baligar, 2008; Joris *et al.*, 2016). Esse procedimento visa corrigir a fertilidade do perfil do solo, promovendo um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular das culturas, o que as torna mais resilientes aos frequentes períodos de estiagem e contribui para o alcance de altas produtividades (Moraes *et al.*, 2023).

4.2 Efeitos da calagem nos teores de magnésio do solo

Os teores de Mg^{2+} na profundidade de 0,00 a 0,10 m apresentaram aumento significativo com a aplicação das doses crescentes de calcário, sendo que o ponto máximo para o modelo encontrado ocorreu com a dose de $6,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto o ponto mínimo foi observado com a dose de 0 Mg ha^{-1} , (Figura 4). Na camada de 0,10 a 0,20 m, os teores de Mg^{2+} aumentaram de forma linear com as doses aplicadas. Por fim, na camada de 0,20 a 0,40 m, observou-se assim como para o Ca^{2+} , uma pequena variação nos teores de Mg^{2+} em função das doses aplicadas na superfície.

A dissolução do calcário é influenciada pela redução da concentração de íons H^+ na solução do solo. Isso ajuda a explicar por que, possivelmente, o ponto máximo de aumento do pH na camada superficial foi alcançado com a dose de 6,5 e não com 8 Mg ha^{-1} . Ou seja, com a maior dose aplicada em superfície, houve um aumento do pH, o que reduziu a concentração de íons H^+ , dificultando, conseqüentemente, a dissolução do calcário em maior profundidade (Rheinheimer et al., 2000; Allen; Hossner, 1991).

Figura 4. Teores de Mg no solo em função das diferentes doses de calcário em superfície:



Fonte: Do autor (2025).

Avaliando-se os teores de Mg^{2+} na camada de 0 a 0,10 m, a dose de 8 Mg ha^{-1} , incorporada ao solo, apresentou um aumento significativo em comparação com as doses

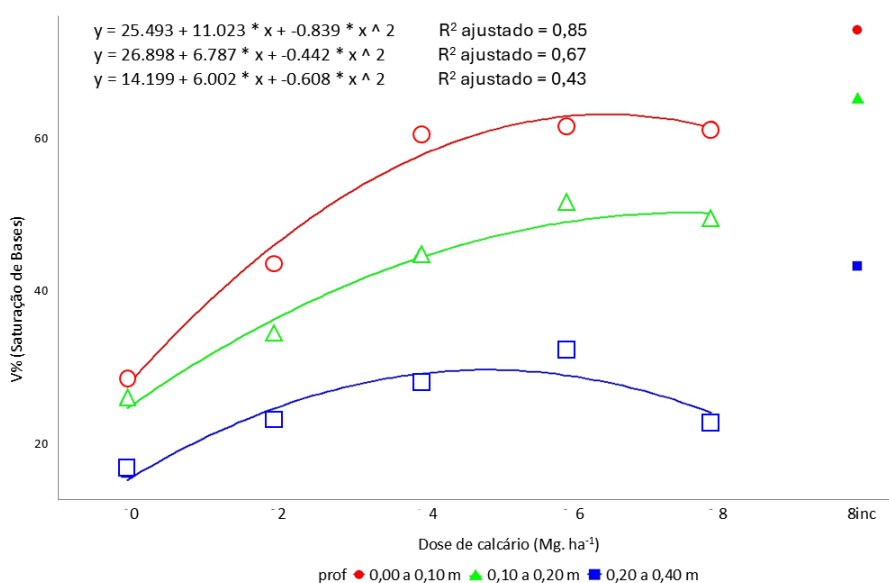
aplicadas em superfície. Já na camada de 0,10 a 0,20 m, não houve diferença significativa somente entre a dose incorporada e as doses de 6 e 8 Mg ha⁻¹ aplicada em superfície. Quanto à camada de 0,20 a 0,40 m, verificou-se o mesmo comportamento da camada 0 a 0,10 m, com um aumento significativo dos teores de Mg para a dose incorporada em relação às doses aplicadas em superfície.

A precipitação acumulada no local de estudo pode ter contribuído para a movimentação do Mg²⁺ para camadas inferiores, tanto nas doses aplicadas em superfície quanto na dose incorporada. Altas doses de corretivo, associadas às condições de elevada precipitação e ao uso intensivo de nitrogênio em sistemas de plantio direto, favorecem a lixiviação de Mg²⁺ para as camadas subsuperficiais do solo (Yagi et al., 2018). No entanto, os resultados foram mais expressivos para a dose incorporada em comparação às doses aplicadas em superfície. Isso ocorre porque o calcário, sendo um produto de baixa reatividade, depende da incorporação para aumentar o contato entre o corretivo e as partículas do solo, promovendo, assim, uma reação mais rápida do produto (Alcarde, 1992).

4.3 Efeitos da calagem nos teores de saturação por bases (V%) do solo

Como os valores de saturação por bases (V%) é predominantemente influenciado pelos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , espera-se que seu comportamento seja bastante similar ao observado para esses dois nutrientes. Dessa forma, observa-se nas três profundidades 0,0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m que houve um aumento significativo dos valores de V% com a aplicação das doses crescentes de calcário, sendo que o ponto máximo para o modelo encontrado ocorreu com a dose de 6,5 Mg ha^{-1} , enquanto o ponto mínimo foi observado com a dose de 0 toneladas (Figura 5). Nota-se que nas camadas mais profundas, os valores de V% são menores em comparação com a camada de 0 a 0,10 m, o que corrobora o fato de que o calcário tem pouca mobilidade no solo, levando-se mais tempo para atingir as camadas inferiores do perfil. Esse tempo pode ser reduzido quando o corretivo é incorporado. No entanto, sempre haverá um gradiente nos teores de nutrientes em função da profundidade, devido à concentração de matéria orgânica, que normalmente se encontra nas camadas superficiais do solo. Essa matéria orgânica contribui para o aumento da capacidade de troca de cátions do solo e do seu poder tampão (Ronquim *et al.*, 2020).

Figura 5. Valores de V% em função das diferentes doses de calcário em superfície:



Fonte: Do autor (2025).

Avaliando os teores de V%, a dose de 8 Mg ha^{-1} , incorporada ao solo, apresentou um aumento significativo em comparação com as doses aplicadas em superfície para todas as três profundidades.

4.4 Efeitos da calagem nos teores de micronutrientes do solo

A aplicação de calcário na área ocorreu 43 meses antes da amostragem de solo mencionada, quando já havia acumulado de aproximadamente 6.000 mm de chuva. Contudo, a prática da calagem não alterou os teores de micronutrientes no solo (Tabela 4).

Tabela 4. Disponibilidade dos micronutrientes (Mehlich -1) em função às diferentes doses de calcário em superfície.

Dose de calcário Mg.ha ⁻¹	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg.dm ⁻³					
0,00 – 0,10 m					
0	0,4	0,8	58,7	19,8	1,5
2	0,4	0,9	62,4	19,6	1,5
4	0,4	0,8	60,1	20,2	1,8
6	0,3	0,8	61,7	18,3	1,7
8	0,4	0,8	65,9	18,1	1,9
8 inc	0,4	0,7	54,8	23,3	1,3
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS
0,10 – 0,20 m					
0	0,3	1,0	79,7	13,8	0,7
2	0,3	1,1	78,2	14,6	0,5
4	0,3	1,0	75,9	15,5	0,4
6	0,3	1,0	68,4	15,1	1,2
8	0,3	1,0	85,9	14,2	0,7
8 inc	0,3	0,9	82,6	17,0	0,5
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS

NS: não significativo.

Fonte: Do autor (2025).

Os teores de boro (B), classificados como baixos, os teores de cobre (Cu) e zinco (Zn), considerados médios, e os teores de ferro (Fe) e manganês (Mn), avaliados como altos antes da calagem, não tiveram suas classes de disponibilidade alteradas pelas doses de calcário (Ribeiro *et al.* 1999). Ressalta-se que os teores de Cu, Fe, Mn e Zn foram

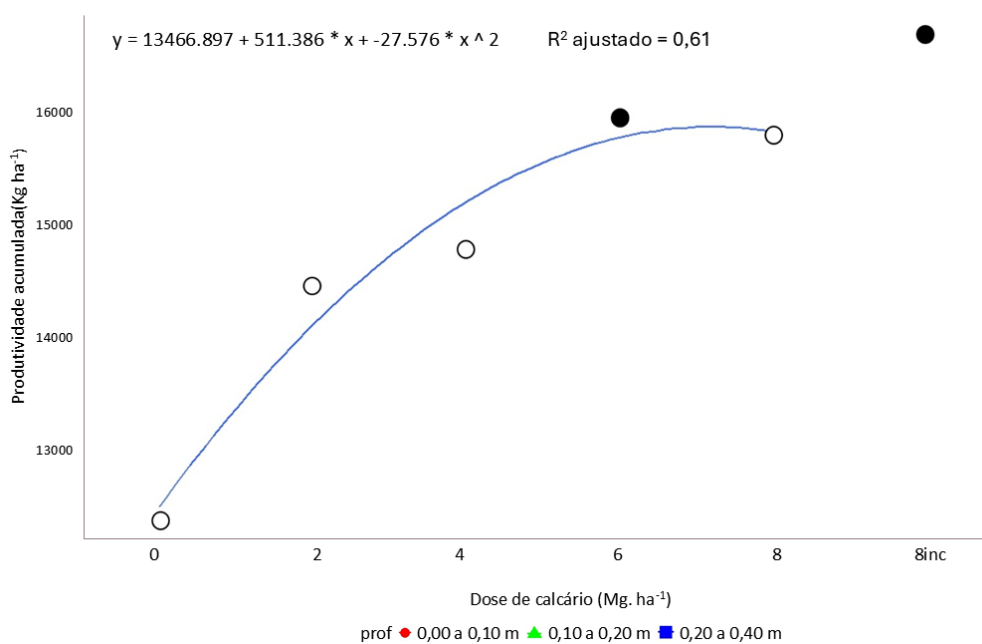
extraídos do solo com o Mehlich-1, que é composto pelos ácidos clorídrico e sulfúrico diluídos. Portanto, a solução possui pH baixo, o que pode comprometer a avaliação correta da disponibilidade de micronutrientes no solo (Moreira *et al.*, 2017; Moreira *et al.*, 2024).

Outros estudos observaram poucas variações, ou nenhuma, nos teores de micronutrientes no solo, independentemente das diferentes doses de calcário aplicadas na superfície, sem incorporação (Tissi *et al.* 2004, Soratto 2008 e Moreira *et al.* 2017). Após 18 meses, não foi observada nenhuma alteração nos teores de Cu, Fe, Mn e Zn em áreas de SPD, mesmo após a aplicação de 1,1, 2,7 e 4,3 Mg ha⁻¹ de calcário em superfície e sem incorporação (Soratto *et al.*, 2008).

4.5 Produtividade acumulada das culturas de soja, girassol e sorgo

Atualmente, na agricultura, adotar um sistema de produção mais diversificado é uma alternativa promissora para aumentar a eficiência agrícola de forma sustentável (Moreira *et al.*, 2023). Sob a perspectiva da calagem, a avaliação da produtividade acumulada de grãos é utilizada como indicador, pois considera a resposta de todas as culturas plantadas ao longo dos anos. Nesse estudo, pode-se verificar que a produtividade acumulada de soja (safras 2022/2023 e 2023/2024), girassol (2^a safra 2023) e sorgo (2^a safra 2024), variou de acordo com as diferentes doses aplicadas na superfície.

Figura 6. Produtividade acumulada de soja (safras 2022/2023 e 2023/2024), girassol (2^a safra 2023) e sorgo (2^a safra 2024) em relação das diferentes doses de calcário em superfície.



Fonte: Do autor (2025).

A produtividade acumulada apresentou um aumento significativo com a aplicação em superfície das doses crescentes de calcário, sendo que o ponto máximo para o modelo encontrado ocorreu com a dose de 7,21 Mg ha⁻¹, enquanto o ponto mínimo foi observado com a dose de 0 Mg ha⁻¹, (Figura 6). Ao analisar a produtividade acumulada, destacou-se a dose de 8 Mg ha⁻¹ incorporada em comparação com as doses aplicadas em superfície, pois houve uma diferença significativa em relação às parcelas

cultivadas com doses de 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹. No entanto, não foi observada diferença em relação à dose de 6 Mg ha⁻¹.

5 CONCLUSÃO

Os teores de Ca, Mg e os valores de V%, na camada de 0,0 a 0,4 m, elevaram-se com o calcário aplicadas em superfície.

A aplicação de calcário com incorporação tem maior capacidade de elevar os teores de Ca, Mg e os valores de V% na camada de 0,0 a 0,4 m, alcançando níveis superiores em comparação à aplicação superficial.

Os teores de micronutrientes no solo não foram afetadas com o aumento das doses de calcário.

Doses elevadas podem diminuir o potencial de reação do calcário, quando aplicados em superfície.

A reabertura de áreas que não foram abertas corretamente traz melhorias para a fertilidade do solo e produtividade acumulada das culturas.

5. REFERÊNCIAS:

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992.

ALLEN, E. R.; HOSSNER, L. R. Factors affecting the accumulation of surface-applied agricultural limestone in permanent pastures. *Soil Science*, Madison, WI, v. 151, n. 3, p. 240–248, 1991.

BOSSOLANI, João W. et al. Improving soil fertility with lime and phosphogypsum enhances soybean yield and physiological characteristics. *Agron. Sustain*, 2022.

BOSSOLANI, João 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. *Front. Plant Sci*, 2021.

CAMBRI, M.A. Calagem e formas de alumínio em três localidades sob sistema de plantio direto. 2004. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CAIRES, Eduardo F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. *Informações agronômicas*, 2013.

CIOTTA, M.N. et al. Manejo da Calagem e os Componentes da Acidez de Latossolo Bruno em Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 28, n. 2, p. 317-26, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832004000200010>. Acesso em: 15 jun. 2021

CONAB. **Produção Agrícola - Safra - Série Histórica dos Grãos**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 14 jul. 2024.

DADALTO, Haroldo C. et al. Sistema De Preparo Do Solo E Sua Influência Na Atividade Microbiana. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 2015.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in agronomy*, 2008.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 3, p. 416-424, 2001.

FILHO, Morel Pereira Barbosa; FAGERIA, Nand Kumar; ZIMMERMANN, Francisco José Pfeilsticker. Attributes of soil fertility and bean and soybean productivity influenced by liming applied on surface or mixed to the soil. *Lavras: Ciênc. agrotec*, 2005.

GASSEN, Dirceu. A adubação verde e o plantio direto. *Revista Plantio Direto*, 2010.

JORIS, Helio Antonio Wood et al. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.04.009>

LANDAU, E. C.; NETTO, D. A. M. Expansão potencial da produção de sorgo granífero no Brasil no sistema de rotação com soja considerando o zoneamento de risco climático 2015/16. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 27 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 125).

LOPES A. S.; GUILHERME L. R. G. A Career Perspective on Soil Management in the Cerrado Region of Brazil. *Advances in Agronomy*, 2016.

MENDES, Iêda de C. et al. Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. Embrapa Cerrados: Planaltina 2021.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, [s.l.], v. 45, p. 251-256, 2002.

MOAREAS, Flávio A. de et al. Lime incorporation up to 40 cm deep increases root growth and crop yield in highly weathered tropical soils. *European Journal of Agronomy*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126763>.

MORAES, F. A.; MOREIRA, S. G.; PEIXOTO, D. S.; SILVA, J. C. R.; MACEDO, J. R.; SILVA, M. M.; SILVA, B. M.; SANCHEZ, P. A.; NUNES, M. R. Lime incorporation up to 40 cm deep increases root growth and crop yield in highly weathered tropical soils. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 144, 2023.

MOREIRA, S. G. Desafios para a sustentabilidade dos sistemas de produção com culturas anuais. **Nutrição de plantas ; Ciência e Tecnologia**, [s. l.], p. 1–12, 2019.

MOREIRA, S. G. et al. Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage. **Acta Scientiarum-Agronomy**, [s.l.], v. 39, [s. l.], p. 89, 2017.

MOREIRA, S. G.; MORAES, F. A.; PEIXOTO, D. S.; SILVA, J. C. R.; GAUDENCIO, J. R. F.; SILVA, B. M.; SILVA, M. M.; MACEDO, J. R. Deep incorporation of high limestone rates affects the macro and micronutrients availability and the accumulated grain yield in three acidic sites in Brazil. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 154, 2024.

PASSOMAI, E. J. et al, Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. Division: Soil Use and Management, Commission – Soil and Water Management and Conservation, 2022.

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. *R. Bras. Frutic.*, 16:86-91, 1994.

PHILIPS, Ronald, E. et al. No-Tillage Agriculture. *Science*, 1980.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem Para Uma Rotação De Culturas No Sistema Plantio Direto. R. Bras. Ci. Solo, 1998.

RAIJ, B. VAN. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. 1. ed. [s.l.] International Plant Nutrition Institute, 2011.

RAIJ, B. V. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. **International Plant Nutrition Institute**, Piracicabap. 8–18, 2011.

RAIJ, B. V. **Recomendações de calagem e adubação para o estado de São Paulo**. IAC & Fundação IACed. Campinas: IAC & Fundação IAC, 1997. 1997.

RESENDE, A. V. O sistema plantio direto proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. Documentos (INFOTECA-E), 2011.

RESENDE, A. V. et al. Solos de Fertilidade Construída: Características, Funcionamento e Manejo. **Informações Agronômicas**, [s.l.], v. 156, [s. l.], 2016.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2000.

RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. Soil Science Society of America Journal, 2000.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. . **Comissão técnica de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais**., Viçosap. 359, 1999.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais / Carlos Cesar Ronquim. - 2.ed. - Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 34 p.: il.; (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Territorial, ISSN 1806-3322; 35).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Embrapa**, Brasília, DF: 2018.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**., Rio de Janeiro: Embrapa Solos 2009.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [s.l.], v. 32, p. 675-688, 2008.

TISSI, J.A; CAIRES, E.F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semedura direta de milho. Bragantia, [s.l.], v. 63, p. 405-413, 2004.

YAGI, R. Occasional soil tillage, liming, and nitrogen fertilization on long-term no-tillage system. Pesquisa Agropecuária Brasileira, [s.l.], v. 53, p. 833-839, 2018.

Zago, C. P. 1992. Utilização do sorgo na alimentação de ruminantes. p.9-26. In: Manejo cultural do sorgo para forragem. Circular Técnica, 17. EMBRAPA-CNPMS, Sete Lagoas.