

UNIRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**CONVERSÃO DE ÁREA DE PASTAGEM EM CULTIVO DE GRÃOS
MEDIANTE A DOSES DE CALCÁRIO: EFEITOS NO SOLO E NAS
PLANTAS**

GABRIEL MARQUES DE OLIVEIRA
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2024

GABRIEL MARQUES DE OLIVEIRA

**CONVERSÃO DE ÁREA DE PASTAGEM EM CULTIVO DE GRÃOS
MEDIANTE A DOSES DE CALCÁRIO: EFEITOS NO SOLO E NAS
PLANTAS**

Dissertação apresentada a Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Science*.

**RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2024**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

O47c Oliveira, Gabriel Marques de

Conversão de área de pastagem em cultivo de grãos mediante a doses de calcário: efeitos no solo e nas plantas. / Gabriel Marques de Oliveira. – 2024.
69 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Cesar Evangelista de Menezes.
Coorientadores: Dr. Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida e Dr.
Rafael de Souza Nunes

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de
Agronomia, 2024.

1. Correção de solo. 2. Corretivo - Agricultura. 3. Soja. 4. Milho. I.
Menezes, Carlos Cesar Evangelista de. II. Almeida, Rodrigo Estevam
Munhoz de. III. Nunes, Rafael de Souza. IV. Título.

CDD: 631.6

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

GABRIEL MARQUES DE OLIVEIRA

CONVERSÃO DE ÁREA DE PASTAGEM EM CULTIVO DE GRÃOS MEDIANTE A
DOSES DE CALCÁRIO: EFEITOS NO SOLO E NAS PLANTAS

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de
Rio Verde, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVAÇÃO: 31 de julho de 2024



Documento assinado digitalmente

CARLOS CÉSAR EVANGELISTA DE MENEZES
Data: 12/08/2024 11:47:00-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Carlos César Evangelista de Menezes
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV



Documento assinado digitalmente

RICARDO DE CASTRO DIAS
Data: 0 8/08/2024 20:45:00-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo de Castro Dias
Membro - FA/UniRV



Documento assinado digitalmente

VERIDIANA CARDOZO GONÇALVES CANTÃO
Data: 12/08/2024 08:34:09-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.ª Dr.ª Veridiana Cardoso Gonçalves Cantão
Membro - FA/UniRV



Documento assinado digitalmente

RISELY FERRAZ ALMEIDA
Data: 12/08/2024 11:10:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.ª Dr.ª Risely Ferraz Almeida
Membro Externo – UNEB

DEDICATÓRIA

A Deus

A meu pai Sérgio L. Oliveira

A minha mãe Deise M. Marques Oliveira

A minha irmã Mariana Marques de Oliveira

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho representa um grande marco em minha vida profissional, e não poderia deixar de agradecer a todos que estiveram envolvidos indiretamente e diretamente para que isso se concretizasse.

Aos Professores Godofredo Vitti e Rafael Otto por todos os aprendizados, conselhos e orientações desde a época de minha graduação e formação como Eng. Agrônomo, assim como ao GAPE pelas experiências e desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao meu orientador Prof. Carlos Cesar E. Menezes por todo apoio, paciência, orientações durante este período, e por participar ativamente de meu desenvolvimento profissional.

Ao Dr. Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida (Txarli-Braun), coorientador e peça-chave deste trabalho, um grande amigo que a ESALQ me deu. Txarli, obrigado por confiar em mim, por me escolher como parceiro de trabalho e por me apoiar desde a época de minha graduação. Serei eternamente grato ao seu apoio no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Dr. Rafael Nunes, coorientador deste trabalho e amigo, obrigado por todo apoio nas análises laboratoriais e orientações.

Ao GAPES (Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano), empresa na qual tenho orgulho em trabalhar, e a todos os produtores associados, pelo apoio, incentivo e compreensão durante a pós-graduação. Gostaria de deixar meus sinceros agradecimentos em especial a família Peeters, em nome de Charles Peeters, por acreditarem em mim e por todas as oportunidades que me proporcionaram.

A Agrícola Invernadinha (Paraíso do Tocantins/TO), Caroline Vilela e todos os colaboradores, por cederem a área e estrutura para condução deste ensaio, além de incentivarem e apoiarem a pesquisa agrônômica aplicada. Vocês fazem a diferença.

A minha namorada Lais Dure, por todo apoio, conselhos, compreensão e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

A Prof^a. Risely Ferraz Almeida, a qual também me acompanha desde a época de graduação, por todo apoio e conselhos nas análises estatísticas e de escrita para este trabalho.

Ao amigo Prof. Acácio Bezerra de Mira, pelo apoio e sugestões nas análises estatísticas.

Aos amigos da República Saudades da Minha Égua, os quais levarei para toda a vida.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.	MATERIAL E MÉTODOS	5
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	9
5.	CONCLUSÕES.....	51
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

RESUMO

Oliveira, Gabriel Marques, M.S., UNIRV – Universidade de Rio Verde, julho de 2024. **Conversão de área de pastagem em cultivo de grãos mediante a doses de calcário: efeitos no solo e nas plantas.** Orientador: Prof. Dr. Carlos Cesar Evangelista de Menezes. Coorientadores: Dr. Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida e Dr. Rafael de Souza Nunes.

O calcário é um dos insumos indispensáveis para a sustentabilidade agrícola na maioria dos sistemas de cultivo. Com a expansão de lavouras de grãos em áreas antes consideradas marginais e de menor aptidão agrícola, o uso deste corretivo agrícola é considerado primordial para a estabilização de qualquer sistema de produção. Assim, o trabalho objetivou entender a influência de altas doses de calcário (maiores do que às recomendadas pelos métodos oficiais) na fertilidade do solo e desenvolvimento das culturas de soja e milho segunda safra, ao longo de cinco safras, em área de conversão de pastagem para agricultura. O experimento foi instalado em área de pastagem que foi convertida em lavoura para produção de grãos (soja na primeira safra e milho na segunda safra), em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico petroplúntico, de textura argilosa, no município de Paraíso do Tocantins/TO, e foi constituído por delineamento de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram as doses de 0; 2; 4; 6; 8; 10 e 12 Mg ha⁻¹ de calcário. As aplicações de calcário foram realizadas em superfície e incorporadas com gradagem pesada até 40 cm de profundidade. Foram realizadas as seguintes avaliações: análise química do solo e de calcário não reagido (0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm e 40-60 cm) 52 meses após aplicação dos tratamentos, análise de nutrientes na folha diagnóstica das culturas e produtividade das culturas. Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância, e aqueles com respostas significativas, foram submetidos a análise de regressão. A calagem não influenciou na produtividade da soja em nenhuma das safras avaliadas. Contudo, para o milho segunda safra, houve respostas em três, das cinco safras avaliadas. O aumento das doses de calcário proporcionou (após quatro anos da aplicação) melhoria da fertilidade do perfil de solo (até 60 cm de profundidade), além de maior quantidade de calcário residual (maior efeito residual). Os micronutrientes, apesar de pouco afetados no solo, tiveram seus teores significativamente reduzidos nas folhas de soja e milho.

Palavras-chave: Correção de solo, corretivo, soja, milho.

ABSTRACT

Oliveira, Gabriel Marques, M.S., UNIRV – University of Rio Verde, July 2024. **Conversion of pasture areas into grain cultivation through limestone doses: effects on soil and plants.** Advisor: Prof. Dr. Carlos Cesar Evangelista de Menezes. Co-advisors: Dr. Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida and Dr. Rafael de Souza Nunes.

Limestone is one of the essential inputs for agricultural sustainability in most cropping systems. With the expansion of grain crops into areas previously considered marginal and less suitable for agriculture, the use of this agricultural corrective is deemed crucial for stabilizing any production system. Thus, this study aimed to understand the influence of high limestone doses (higher than those recommended by official methods) on soil fertility and the development of soybean and second-crop corn over five seasons in area converted from pasture to agriculture. The experiment was conducted in a pasture area converted into a field for grain production (soybean in the first crop and corn in the second crop) on a Oxisols with clayey texture in the municipality of Paraíso do Tocantins/TO, Brazil. The experimental design was a randomized block design with seven treatments and four replications. The treatments applied were limestone doses of 0, 2, 4, 6, 8, 10, and 12 Mg ha⁻¹. The limestone applications were made on the surface and incorporated by heavy disking to a depth of up to 40 cm. The following evaluations were performed: chemical analysis of soil and unreacted limestone (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, and 40-60 cm) 52 months after the treatments were applied, nutrient analysis in diagnostic leaves of the crops, and crop yields. The results were subjected to analysis of variance, and those with significant responses were further analyzed using regression analysis. Liming did not affect soybean yield in any of the evaluated seasons. However, for second-crop corn, there were responses in three out of the five evaluated seasons. Increasing limestone doses resulted (four years after application) in improved soil fertility profile (up to 60 cm depth), as well as a higher amount of residual limestone (greater residual effect). Although micronutrients in the soil were minimally affected, their levels were significantly reduced in soybean and corn leaves.

Keywords: Soil correction, soil amendment, soybean, corn.

1. INTRODUÇÃO

Os critérios utilizados para definição das doses de calcário são estabelecidos por boletins publicados nos diferentes estados brasileiros, baseando-se principalmente, na elevação da saturação de bases (V%) ideal para o cultivo da soja de 50% a 70%, ou elevação dos teores de cálcio e magnésio (SOUZA & LOBATO, 2004; QUAGGIO & RAIJ, 2022). O estudo das ações das doses sugeridas por estes critérios na fertilidade do solo e nas respostas das culturas, é importante, devido a variação de respostas conforme tipo de solo, ambiente de produção, cultura e material genético avaliados.

Na literatura, já existem trabalhos há anos evidenciando casos em que as doses de calcário para correção de solo sugeridas pelos métodos oficialmente publicados, não atingem a saturação de bases desejadas ou também, ganhos de produtividade das culturas avaliadas com a utilização de doses acima destas sugeridas (CAIRES, et al., 1998; CAIRES et al., 2002; ALLEONI et al., 2005; SORATTO, 2005). Atualmente, este assunto tem causado discussões entre pesquisadores, técnicos e agricultores, devido principalmente a expansão da agricultura em áreas de cerrado consideradas como “fronteiras agrícolas”, e o desenvolvimento de novos materiais genéticos com patamares produtivos maiores do que aqueles utilizados para avaliação dos métodos publicados há anos.

Complementando esta discussão, trabalhos recentes da literatura também apresentam, não só os impactos positivos na fertilidade do solo e produtividade das culturas, mas também os benefícios para a microbiologia do solo, tolerância de estresses hídricos das culturas e resiliência do sistema com o uso de doses acima das recomendadas pelos critérios, tanto em áreas de mudança do sistema de produção (geralmente de pastagens degradadas para o sistema de plantio direto), quanto em áreas de plantio direto já consolidadas (VERONESE et al., 2012; BOSSOLANI, 2018; MORAES, 2019; BOSSOLANI et al., 2021a; BOSSOLANI et al., 2021b, MOREIRA et al., 2024).

Assim, devido aos altos patamares produtivos almejados atualmente, além do melhor estabelecimento do sistema de plantio direto em áreas de conversão agrícola e com a utilização dos novos materiais genéticos utilizados na agricultura brasileira, estudos atuais visando o entendimento da influência de doses maiores do que as recomendadas pelos métodos oficiais de recomendação de calcário, assim como a atualização ou ajustes destes, são importantes e se fazem necessários, para o melhor entendimento desta prática indispensável a agricultura brasileira.

Em busca de avaliar as melhores estratégias de correção de solo em área de conversão de Cerrado para agricultura, no estado do Piauí, Oliviera et al. (2024) avaliaram o efeito de doses de calcário incorporadas na fertilidade do solo e produtividade em duas safras de soja. Os autores avaliaram doses de até 20 Mg ha⁻¹ e verificaram melhores respostas para o incremento da fertilidade do perfil de solo e produtividade de soja com 10 Mg ha⁻¹ de calcário (ganhos de 18% e 12% de produtividade comparados com a dose recomendada pelo critério de saturação de bases, nas safras 2019/20 e 2020/21, respectivamente). Isso evidencia a importância de estudos atuais sobre este tema.

Com isso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência de altas doses de calcário (maiores do que às recomendadas pelos métodos oficiais) na fertilidade do solo e no desenvolvimento e produtividade das culturas de soja e milho segunda safra ao longo de cinco safras, em área de conversão de pastagem para agricultura, na região de Paraíso do Tocantins/TO.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A acidez do solo é um dos grandes limitantes para a instalação de sistemas de cultivos agrícolas, impactando diretamente no desenvolvimento e produtividade das culturas (SOUSA, MIRANDA & OLIVEIRA, 2007). A acidez é caracterizada pelo balanço de íons de hidrogênio (H⁺) e de hidroxilas (OH⁻) em uma solução, sendo representada pela escala de pH (potencial hidrogeniônico), variando de 0 a 14 (sendo pH menor que 7, caracterizado como solução ácida, maior que 7, como solução alcalina, e igual a 7, como solução neutra) (SOUSA, MIRANDA & OLIVEIRA, 2007).

Existem várias formas de originação da acidez de um solo, sendo que a intensidade do sistema de cultivo influencia diretamente neste balanço. Um solo pode ser caracterizado como ácido devido ao seu material de origem (rochas de natureza ácida) ou da ação de intemperismo, como por exemplo o grande índice pluviométrico, o qual é responsável pela lixiviação de cátions de caráter básico do complexo de troca de cátions do solo (Capacidade de Troca Catiônica - CTC), como cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), potássio (K⁺) e sódio (Na⁺), tornando-se maior o acúmulo de cátions de caráter ácido, como alumínio (Al³⁺) e hidrogênio (H⁺) (SOUSA, MIRANDA & OLIVEIRA, 2007). Além disso, processos como adubação (principalmente relacionada a adubação nitrogenada), colheita de culturas (remoção de bases pela colheita), decomposição da matéria orgânica e exsudatos de raízes, podem aumentar os

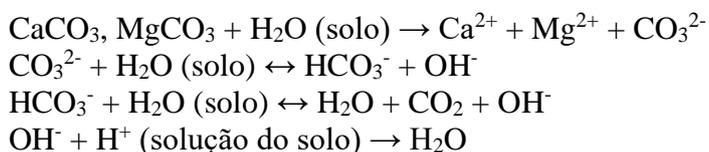
índices de H^+ na solução do solo, tornando-o com caráter ainda mais ácido (SOUSA, MIRANDA & OLIVEIRA, 2007).

Além do impacto direto no desenvolvimento das culturas, a acidez do solo também influencia na atividade biológica e dinâmica dos nutrientes no solo, onde conforme a variação, há maior atividade de certas classes de microrganismos ou disponibilização de alguns nutrientes. Os primeiros trabalhos avaliando a interação entre o pH do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas foram realizadas e publicados entre as décadas de 1920 e 1940, onde a dinâmica dos nutrientes no solo conforme o pH, foi representada na forma de diagrama, o qual é utilizado até hoje em estudos de química e fertilidade do solo, e indica a melhor disponibilidade dos nutrientes na faixa de pH (H_2O) de 5,5 a 6,5 (HATERMINK & BARROW, 2023).

Há muitos anos se vem estudando estratégias de como corrigir a acidez de um solo, sendo que o uso dos chamados corretivos de acidez mostra-se mais eficiente neste processo. Alcarde (2005) caracteriza como corretivo da acidez dos solos os produtos que são capazes de neutralizar sua acidez, através da liberação de bases (fortes ou fracas), e ainda fornecer nutrientes para este, oriundos principalmente de rochas calcárias moídas. Como exemplo de corretivos da acidez do solo, podemos considerar: calcário (carbonatos de cálcio e magnésio), cal virgem agrícola (produto obtido pela calcinação ou queima completa do calcário), cal hidratada agrícola (produto obtido através da hidratação da cal virgem), calcário calcinado (produto obtido pela calcinação parcial do calcário) e escória de siderurgia (subproduto da indústria de ferro e aço) (ALCARDE, 2005).

O calcário é o insumo mais utilizado para correção da acidez do solo, devido a sua disponibilidade, eficiência de correção e fornecimento de cálcio e magnésio para as culturas. Miotto et al. (2019) avaliaram o efeito da aplicação de calcário na acidez do solo e espécies de alumínio em solo de pastagem natural do Cerrado Brasileiro na implantação do sistema de plantio direto, e concluíram, após 44 meses de avaliações, que a aplicação de calcário incorporada até 20 cm de profundidade, foi efetiva em corrigir os atributos de acidez do solo na camada onde o mesmo foi incorporado.

A reação do calcário no solo e neutralização da acidez, podem ser expressas da seguinte forma:



Além da correção de solo, a tolerância das plantas à acidez é variável por espécie, sendo esta, uma das características almejada pelos programas de melhoramento genético (FAGERIA & MORAIS, 1987). Em estudo realizado por Cabral et al. (2019), os autores avaliaram a tolerância de 25 cultivares comerciais de soja à toxicidade de alumínio durante as fases de germinação e crescimento inicial das plantas, e concluíram que houve diferenças entre os materiais genéticos, onde cinco destes materiais, apresentaram maior tolerância a acidez causada por alumínio, podendo viabilizar o seu cultivo em solos com esta característica.

A soja (família Fabaceae, gênero *Glycine*, espécie *Glycine max*) é hoje a cultura com a maior área de cultivo no Brasil, abrangendo aproximadamente 46 milhões de hectares na safra de 2023/2024, sendo 4,3% maior do que a safra de 2022/2023 (CONAB, 2024). Devido a sua importância para a economia nacional e mundial, além do seu crescimento, o cultivo de soja está expandindo em áreas marginais, as quais eram até então desprezadas devido a textura do solo e baixos índices de fertilidade, e áreas de pastagens (muitas vezes degradadas), as quais também se apresentam pobres em nutrientes, e com altos níveis de acidez.

Devido a larga adoção do plantio direto (PD), após o primeiro ano de cultivo na área, a calagem é realizada de forma superficial, sem a incorporação no solo, fazendo com que a correção de camadas subsuperficiais seja mais lenta. Devido a isso, a correta correção do solo e o bom estabelecimento da lavoura no primeiro ano de cultivo no sistema de plantio direto (onde geralmente é realizado o revolvimento do solo), se fazem necessários para a melhor manutenção da acidez.

Atualmente, os critérios mais comuns para definição de doses de calcário a serem utilizadas para correção de solos permeiam entre elevação da saturação por bases (variando entre culturas, sendo para soja em até 70%), ou aumento dos teores de cálcio e magnésio para acima do nível crítico de cada cultura (SOUZA & LOBATO, 2004; QUAGGIO & RAIJ, 2022). Entretanto, como já citado anteriormente, há uma vasta discussão entre os efeitos e benefícios de altas doses de calcário na fertilidade do solo e produtividade de culturas, com alguns trabalhos recentes mostrando pouco ou nenhum efeito positivo, e outros, com efeitos positivos e relevantes para esta prática.

Oliveira (2018) avaliou o efeito de doses de calcário em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, definidas pelo critério da elevação da saturação de bases, e concluiu que o peso de cem grãos e a produtividade da soja aumentaram linearmente ao aumento da dose de calcário até a maior dose avaliada de 6 Mg ha⁻¹, a qual foi obtida através do critério para elevação da saturação de bases para 102,2%.

O estudo de longo prazo da aplicação de corretivos de solo também é importante para avaliar o impacto destes insumos na melhoria do ambiente para as culturas, e assim nortear as estratégias de manejo. Bossolani et al. (2021b) avaliam o efeito de longo prazo da aplicação de calcário no desenvolvimento das raízes, produtividade e parâmetros fisiológicos da cultura soja, concluindo que as maiores doses de calcário aplicadas (acima das doses recomendadas), promoveram a melhoria de todos os parâmetros avaliados, inclusive taxas fotossintéticas e consequentemente produtividade, indicando que altas doses de calcário podem ser utilizadas sem promover desbalanços nutricionais na soja.

Com isso, é necessário avaliar estratégias da correção da acidez do perfil de solo, na implantação do sistema de plantio direto e/ou do sistema de cultivos de grãos no cerrado brasileiro, assim como os impactos nas produtividades das culturas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área de conversão de pastagem para agricultura, em solo de textura argilosa, na Fazenda Invernadinha, município de Paraíso do Tocantins/TO, nas coordenadas 10°11'16.10"S e 48°40'53.28"O. O clima da região é classificado como tropical com estação seca (Aw), segundo classificação climática de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013).

Para a instalação do experimento, foi realizada análise química do solo da área, conforme resultados apresentados na Tabela 1, e análise física do solo conforme apresentado na Tabela 2, sendo o solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018).

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental antes da aplicação dos tratamentos.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	H+Al - cmol _c dm ⁻³ -	Al - % -	V -	m -	P Mehlich mg dm ⁻³	Ca	Mg - cmol _c dm ⁻³ -	K	S mg dm ⁻³	CTC* cmol _c dm ⁻³
0-20	4,50	31	7,30	0,10	14	7,52	0,70	0,8	0,4	0,03	12	8,53
20-40	4,60	28	4,50	0,10	16	10,64	0,40	0,5	0,3	0,04	12	5,34

*CTC pH 7.

Tabela 2. Análise física do solo da área experimental.

Profundidade (cm)	Argila	Areia	Silte
	g kg ⁻¹		
0-20	513	217	217
20-40	444	238	238

O experimento teve início no mês de julho de 2018 com as aplicações dos tratamentos, sendo conduzido até o ano de 2023. Para se avaliar a influência do clima durante as safras, foram realizados os balanços hídricos por decêndio de cada mês (setembro a julho), para cada ano-safra, através de planilha em programa do Office 365 apresentada por Rolim et al. (1998), sendo os mesmos apresentados juntamente com os registros pluviométricos mensais de cada ano-safra na Figura 1.

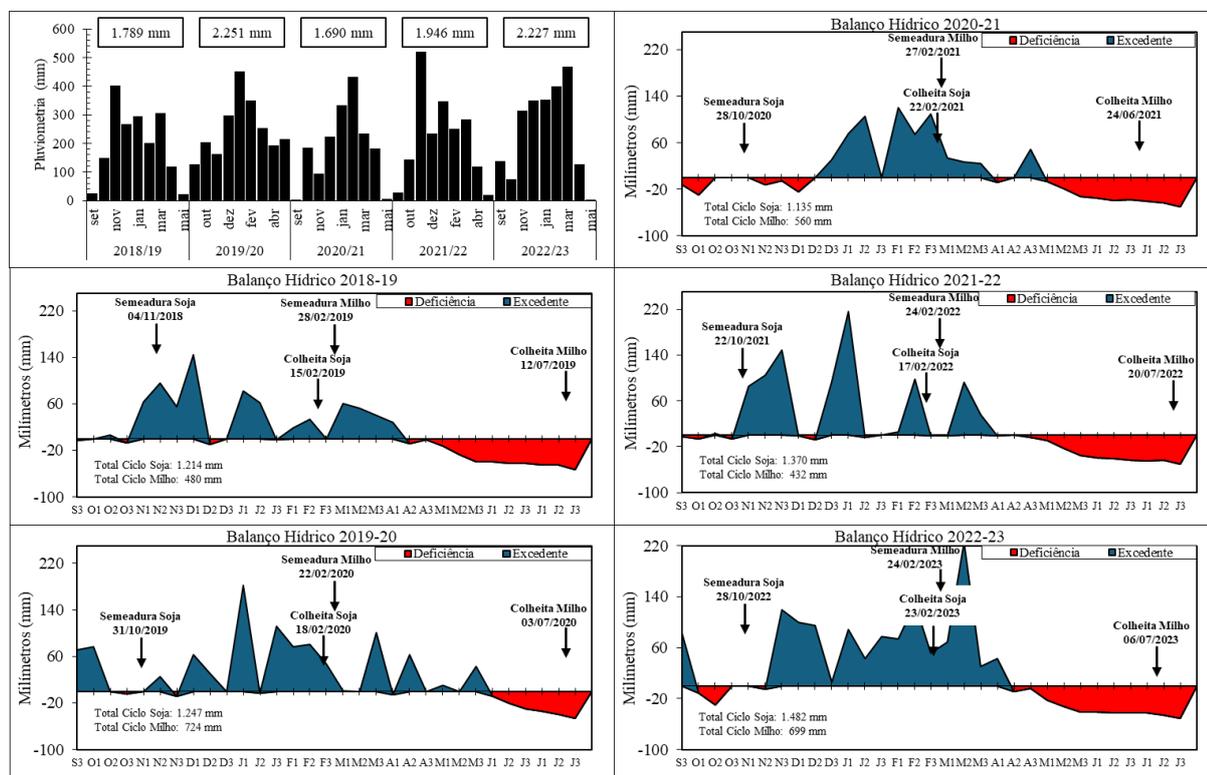


Figura 1. Registros de precipitações mensais, precipitação acumulada e balanços hídricos de cada ano-safra.

Fonte: Dados de precipitação da Fazenda Invernadinha (2023) e dados de temperatura da Estação Meteorológica INMET 83033 (2023).

O experimento foi conduzido sob o cultivo de soja e milho na segunda safra, visando avaliar o impacto dos tratamentos neste sistema de produção, o qual é representativo para a região em questão. Em todos os anos, em pré-semeadura da soja e do milho foram realizadas dessecações de plantas daninhas, assim como o manejo destas durante o ciclo das culturas. Além disso, foram realizados os manejos fitotécnicos de pragas e doenças, com produtos recomendados. Em todas as safras foram utilizadas variedades de soja e híbridos de milho adaptados a região, sendo a semeadura realizada conforme população recomendada pela empresa responsável.

A Tabela 3 apresenta as informações de cultivo referente as safras avaliadas. Para o

primeiro ano, foram realizadas operações semelhantes as utilizadas regionalmente pelos agricultores em áreas de conversão de pastagem para agricultura, onde foram realizadas a aplicação em área geral de 1 Mg ha⁻¹ de gesso (Gibbsita) e a correção dos teores de fósforo e potássio visando o adequado estabelecimento das culturas. Em todos os anos, foram realizadas adubações de manutenção para a soja e milho, conforme necessidade nutricional das culturas.

Tabela 3. Informações de cultivo da área experimental.

Cultura	Variedade/Híbrido	Adubação	Semeadura	Colheita
2018/19				
Soja	Desafio	Incorporado pré-plantio: 84 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 32 kg ha ⁻¹ de S A lanço pré-plantio: 108 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Sulco de plantio: 12 kg ha ⁻¹ de N; 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 40 kg ha ⁻¹ de K ₂ O	04/11/2018	15/02/2019
Milho	M580 PWU	Sulco de plantio: 50 kg ha ⁻¹ de N; 50 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 50 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Cobertura (V4): 50 kg ha ⁻¹ de N	28/02/2019	12/07/2019
2019/20				
Soja	Bônus	Sulco de plantio: 20 kg ha ⁻¹ de N; 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 100 kg ha ⁻¹ de K ₂ O	31/10/2019	18/02/2020
Milho	AG8700	Sulco de plantio: 50 kg ha ⁻¹ de N; 50 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 50 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Cobertura (V4): 70 kg ha ⁻¹ de N	22/02/2020	03/07/2020
2020/21				
Soja	DM80i79	Sulco de plantio: 20 kg ha ⁻¹ de N; 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 120 kg ha ⁻¹ de K ₂ O	28/10/2020	22/02/2021
Milho	P3898	Sulco de plantio: 50 kg ha ⁻¹ de N; 50 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 50 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Cobertura (V4): 50 kg ha ⁻¹ de N	27/02/2021	24/06/2021
2021/22				
Soja	DM80i79	A lanço pré-plantio: 22 kg ha ⁻¹ de N; 104 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 98 kg ha ⁻¹ de K ₂ O	22/10/2021	17/02/2022
Milho	P3707	A lanço no plantio: 60 kg ha ⁻¹ de N; 60 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 60 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Cobertura (V4): 60 kg ha ⁻¹ de N	24/02/2022	20/07/2022
2022/23				
Soja	Olimpo	A lanço pré-plantio: 17 kg ha ⁻¹ de N; 80 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 100 kg ha ⁻¹ de K ₂ O	28/10/2022	23/02/2023
Milho	P3898	A lanço no plantio: 60 kg ha ⁻¹ de N; 60 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ; 60 kg ha ⁻¹ de K ₂ O Cobertura (V4): 60 kg ha ⁻¹ de N	24/02/2023	06/07/2023

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com sete doses de calcário (0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 Mg ha⁻¹) e quatro repetições. O calcário utilizado apresentava

PRNT de 81%, 28% de CaO e 18% de MgO. Considerando a análise química inicial da área (Tabela 1), a dose de calcário recomendada pelo método baseado nos teores de alumínio, cálcio e magnésio no solo, para a camada de 0-20 cm, seria de 1,23 Mg ha⁻¹, e a dose de calcário recomendada pelo método baseado na elevação da saturação de bases a 50% na camada de 0-20 cm, seria de 3,79 Mg ha⁻¹, segundo parâmetros estabelecidos por Souza & Lobato (2004).

Todas as aplicações dos tratamentos foram realizadas no momento do preparo de solo da área, seguindo a ordem:

- 1° - Gradagem com grade niveladora na área total;
- 2° - Gradagem com grade de 32" na área total;
- 3° - Aplicação total dos tratamentos onde as doses eram de 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹. Para os tratamentos referentes as maiores doses, foi realizada a primeira aplicação com a metade das doses, sendo 4 Mg ha⁻¹ (referente a dose de 8 Mg ha⁻¹), 5 Mg ha⁻¹ (referente a dose de 10 Mg ha⁻¹) e 6 Mg ha⁻¹ (referente a dose de 12 Mg ha⁻¹);
- 4° - Gradagem com grade de 42" em todos os tratamentos (considerando as doses de 0, 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹);
- 5° - Aplicação da segunda metade dos tratamentos referentes as maiores doses, sendo 4 Mg ha⁻¹ (referente a dose de 8 Mg ha⁻¹), 5 Mg ha⁻¹ (referente a dose de 10 Mg ha⁻¹) e 6 Mg ha⁻¹ (referente a dose de 12 Mg ha⁻¹);
- 6° - Gradagem com grade de 42" em todos os tratamentos (considerando as doses de 0, 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹);
- 7° - Gradagem com grade niveladora em área geral.

A fim de se avaliar o impacto dos tratamentos na fertilidade ao longo do perfil de solo, foi realizada análise química de solo, através da coleta estratificada (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) por parcela do experimento com o uso de sonda, em outubro de 2022 (52 meses após a aplicação dos tratamentos), onde as amostras foram compostas por 5 subamostras de pontos distribuídos em cada parcela. Os valores de pH, H+Al, Al, P, Ca, K, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados seguindo metodologia descrita por Silva (1999), sendo calculados os valores de saturação de bases (V%). A determinação de calcário residual no solo foi realizada através da metodologia de determinação de cálcio e magnésio não-trocáveis do solo, segundo metodologia descrita por Raij et al. (1982) e Quaggio et al. (1995).

Para avaliação da ação dos tratamentos no desenvolvimento das culturas, foram realizadas as seguintes avaliações: análise foliar (15 folhas por parcela) através da análise da

folha diagnóstica, no estágio de desenvolvimento da soja e milho de R2, segundo Raij et al. (1997), onde foram determinados as concentrações de N, P, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn conforme Malavolta et al. (1997); produtividade da soja e milho, através da colheita manual de 5 metros, nas 2 linhas centrais de cada parcela, sendo os dados de produtividade corrigidos para 13% de umidade.

Todos os resultados foram submetidos a análise de outliers através de análise gráfica de Boxplot e análise de variância (teste F) a 10% de probabilidade, sendo os resultados significativos submetidos a análise de regressão, onde foram avaliados os modelos de ajuste linear, quadrático e linear-plateau. Para os dados que não apresentaram resíduos considerados normais pelo teste de Shapiro Wilk, foi realizada análise gráfica de resíduos. Para definição do modelo a ser utilizado, foi considerado a significância dos parâmetros da equação de cada modelo, significância dos resíduos das regressões, e por último o coeficiente de determinação R^2 (todas as significâncias foram avaliadas a 10%). Para os casos em que os dados foram significativos pela análise de variância, mas não foi possível ajuste dos modelos de regressão, e para as médias de cálcio e magnésio não-trocáveis no solo (avaliação de calcário residual), foram realizadas análises de contrastes ortogonais ($p < 0,1$), no software SISVAR (FERREIRA, 2011).

As análises estatísticas de ANOVA e ajustes dos modelos foram realizadas através de pacotes estatísticos no software R versão 4.4.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2022). Os gráficos foram elaborados através do pacote de programas Office 365 (Microsoft Corporation, WA, USA).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Influência das doses de calcário na produtividade das culturas

A Tabela 4 apresenta os resultados de produtividade de soja ao longo das safras, em função das doses de calcário. Não houve diferença entre o tratamento controle (sem calagem) e os tratamentos que receberam calagem, na produção de grãos de soja. Vale ressaltar ainda, o aumento de produtividade observado ao longo das safras em todos os tratamentos, chegando a patamares considerados altos para a cultura da soja ($5.066,46 \text{ kg ha}^{-1}$) no tratamento sem a correção de solo, quando comparados com médias de produtividade do Estado do Tocantins, e até mesmo do Brasil (CONAB, 2024). Esse fato indica o potencial produtivo do ambiente em questão, onde mesmo em solo com altos índices de acidez e baixos teores de nutrientes no solo,

mas com adubações que atendem a demanda nutricional da soja para altas produtividades, bom volume de chuvas (Figura 1), além do sistema intensivo de produção de grãos (soja e milho segunda safra), foi possível aumentar o potencial produtivo da área, tornando a soja menos responsiva a correção da acidez do solo.

Tabela 4. Produtividade (em kg ha⁻¹) de soja em função de doses de calcário, em solo argiloso no município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário (Mg ha ⁻¹)	Safra				
	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23
0	2.007,00	3.239,06	4.135,24	3.805,33	5.066,46
2	2.162,06	3.517,78	4.501,37	3.720,13	4.980,38
4	2.348,33	3.468,10	4.209,53	3.892,46	5.256,64
6	2.538,93	3.502,99	4.040,16	3.645,57	4.945,59
8	2.438,43	3.489,67	4.485,41	3.641,46	5.024,00
10	2.751,54	4.009,64	4.324,67	3.466,43	4.680,96
12	2.504,77	3.615,68	4.081,05	3.371,07	4.725,88
Média	2.392,80	3.549,00	4.254,00	3.649,20	4.954,20
p valor	ns	ns	ns	ns	ns
CV	16,29	9,35	12,26	7,86	5,94

ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Na literatura, e em termos práticos da agricultura, são consolidados os benefícios que a correção da acidez do solo através da calagem fornecem para o cultivo de plantas e produção agrícola. Existem inúmeros trabalhos mostrando incrementos de produtividade de diversas culturas quando realizada a calagem, em diferentes tipos de solo e sistemas de produção. Para evidenciar este fato, Li et al. (2018) realizaram meta-análise com resultados de 175 trabalhos de todo o mundo e concluíram que os principais fatores que estão relacionados entre a prática da calagem e o impacto na produtividade das culturas, são as doses de corretivos utilizadas e as espécies avaliadas, com incrementos de produtividade variando de 4,7% a 410,4% quando há correção da acidez dos solos. Alguns trabalhos recentes também mostram os benefícios para a produção de soja com doses de calcário maiores do que as recomendadas pelos atuais critérios de recomendação utilizados no cerrado (BOSSOLANI, 2018; MORAES, 2019; MORAES, 2023, OLIVEIRA et al., 2024), o que não foi observado neste trabalho. Contudo, conforme relatado por Cabral et al. (2019), os materiais genéticos de soja (cultivares) possuem diferenças de sensibilidade a acidez do solo, fato que pode ter influenciado nas repostas encontradas neste trabalho. Bojórquez-Quintal et al. (2017) descrevem os mecanismos de tolerância das plantas a acidez do solo e toxidez por alumínio, onde apontam como principais características desses materiais genéticos, a capacidade de reduzir a absorção de alumínio do solo (através de

adaptações nas raízes e rizosfera), e a capacidade de compartimentalizar e estabilizar este elemento em estruturas celulares (principalmente vacúolos).

Albuquerque Filho et al. (2010) avaliando a resposta da soja a até 4 vezes a dose de calcário recomendada, aplicadas sem e com incorporação, também não observaram resposta em produtividade de soja em função das doses de calcário. A recomendação das doses no trabalho seguiu o critério da elevação dos teores de cálcio e magnésio e neutralização de alumínio, em Latossolo com valores semelhantes de cálcio e magnésio aos deste trabalho. Os autores somente observaram efeito sobre o modo de aplicação, onde a aplicação em superfície com incorporação, apresentou maiores patamares produtivos com relação as doses aplicadas apenas superficialmente.

Caires et al. (1998) avaliaram a aplicação superficial de calcário em sistema de cultivo sem preparo de solo, com dose de até 6 Mg ha⁻¹, e não observaram resposta da soja a calagem em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, com pH (CaCl₂) de 4,5 e 32% de saturação de bases na camada de 0-20 cm e teores uniformes de cálcio e magnésio no perfil do solo até 60 cm de profundidade.

A Tabela 5 apresenta o resultado de produtividade de milho em função das doses de calcário ao longo dos anos. Para o primeiro e último ano de cultivo, a resposta foi semelhante a cultura da soja, onde as doses do corretivo também não influenciaram a produtividade. Contudo, para as safras de 2020, 2021 e 2022, houve influência das doses de calcário na produtividade de milho, onde na safra de 2020 e 2022, conforme equação do ajuste quadrático realizado, a dose de máxima produtividade foi a de 7,4 Mg ha⁻¹ de calcário, o que representa ganhos de 21% e 4% para as respectivas safras. Para a safra de 2021, houve incremento linear de produtividade (86,47 kg a cada 1 Mg ha⁻¹) conforme o aumento da dose de calcário.

Ao considerar os incrementos de produtividade apenas para as doses avaliadas, com relação ao tratamento controle (sem aplicação de calcário), é possível observar que para o ano de 2020, maior incremento para a dose de 6 Mg ha⁻¹, sendo de 22%, e para o ano de 2022, maior incremento para a dose de 10 Mg ha⁻¹, sendo de 7%. Vale ressaltar, que a queda de produtividade para as maiores doses nestes dois anos, foi mais pronunciada para a dose de 12 Mg ha⁻¹ (Figura 2).

Tabela 5. Produtividade (em kg ha⁻¹) de milho segunda safra em função de doses de calcário, em solo argiloso no município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário (Mg ha ⁻¹)	Safra				
	2019	2020	2021	2022	2023
0	8.360,06	7.816,14	10.158,48	9.497,61	9.117,78
2	8.186,89	8.547,99	10.570,06	9.722,85	9.496,62
4	7.669,10	8.561,81	11.094,48	9.895,78	8.873,85
6	8.699,13	9.513,33	10.931,41	9.836,74	10.138,03
8	8.352,66	9.286,77	11.120,71	9.690,23	9.410,23
10	8.480,40	9.447,44	11.484,18	10.136,31	9.912,87
12	8.372,49	8.518,50	11.154,36	9.652,25	10.040,16
Média	8.302,96	8.813,14	10.930,52	9.775,97	9.569,94
p valor	ns	*	*	*	ns
CV	11,83	9,5	5,14	2,27	10,75

*significativo 0,1 < p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

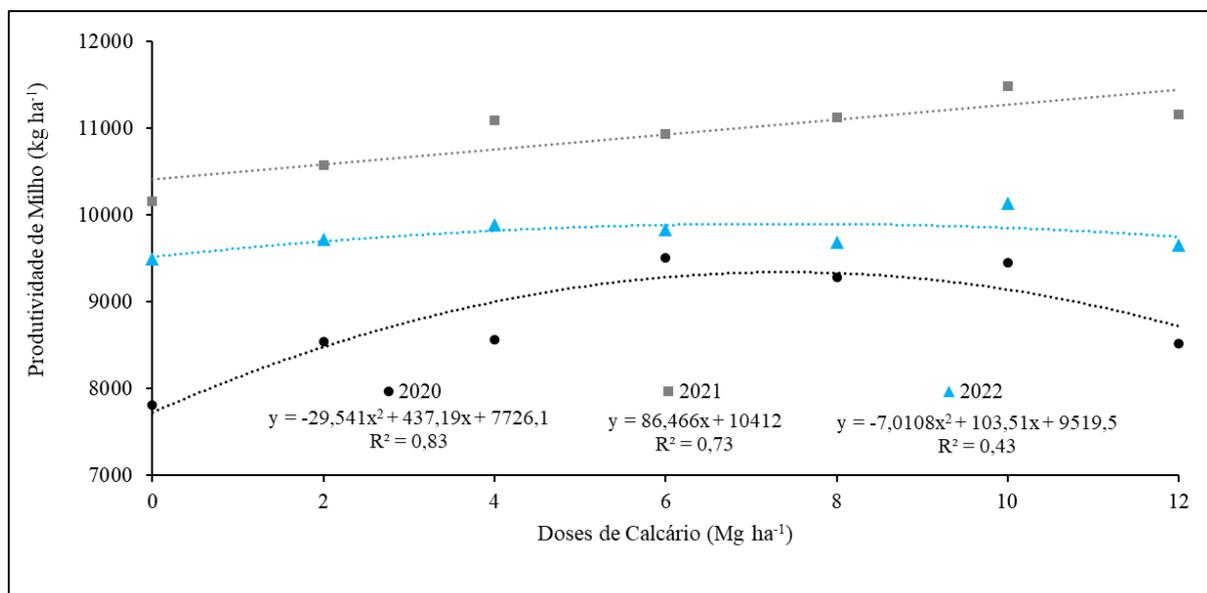


Figura 2. Produtividade de milho nos anos de 2020, 2021 e 2022 em função de doses de calcário, em solo argiloso do município de Paraíso do Tocantins/TO.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

A melhoria química do perfil de solo é importante para o desenvolvimento de todas as culturas, devido principalmente ao incremento do desenvolvimento radicular, facilitando o acesso da cultura a água e nutrientes no solo, tornando o sistema de produção resiliente principalmente ao clima. Com isso, cultivos que possuem menor disponibilidade hídrica durante o seu desenvolvimento, respondem positivamente ao manejo da fertilidade do solo, o que é o caso do cultivo do milho em questão, tendo em vista o mesmo ser cultivado na segunda safra (menor disponibilidade hídrica).

É possível observar, conforme balanço hídrico apresentado na Figura 1, que para a segunda safra de 2021 (única que apresentou resposta linear do milho em produtividade) houve período de déficit hídrico no primeiro decêndio de abril, cerca de 40 dias após o plantio do milho, sendo este período, próximo do florescimento da cultura. Segundo Morizet & Togola (1984) e Ritchie (2003), a fase fenológica de pré-florescimento até o início do enchimento de grãos da cultura do milho, é a mais sensível ao déficit hídrico, em que, estresses durante este período, podem interferir na produtividade da cultura. Com isso, as maiores doses de calcário para a segunda safra de 2021, em condições de déficit hídrico durante fase crítica da cultura, favoreceram o desenvolvimento do milho com impactos positivos em produtividade.

Bossolani et al. (2021) avaliaram a distribuição radicular de milho cultivado na segunda safra em Latossolo Vermelho distroférico, em função da aplicação de calcário realizada superficial, e observaram melhoria na distribuição radicular do milho no perfil de solo quando realizada a calagem, resultando na melhoria do estado nutricional da cultura e consequentemente em vários parâmetros fisiológicos que estão relacionados a estresse hídrico das plantas, refletindo positivamente na produtividade da cultura.

Vale ressaltar que na área experimental não foi realizado manejo de micronutrientes via solo em nenhum dos anos. Contudo, mesmo sem a correção de micronutrientes via solo, a dose de máxima produtividade obtida para os dois anos, segundo as equações dos ajustes quadráticos, foi de 7,4 Mg ha⁻¹, a qual corresponde a 9.343,64 kg ha⁻¹ para o ano de 2020, e 9.901,56 kg ha⁻¹ para o ano de 2022. Além disso, em ambos os anos, é possível observar impacto negativo de maior proporção apenas para a dose de 12 Mg ha⁻¹, onde para o ano de 2020, a diferença para a dose de máxima produtividade é de 825,14 kg ha⁻¹, e para o ano de 2022, igual a 249,31 kg ha⁻¹. Considerando o fato da falta de correção de micronutrientes na área do presente trabalho, esta influência negativa da maior dose avaliada está associada ao desequilíbrio desses elementos no sistema de produção, conforme será discutido nos tópicos relacionados as concentrações foliares de micronutrientes nas culturas.

Bossolani et al. (2020) avaliaram o impacto de doses de calcário aplicadas superficialmente em soja cultivada após milho segunda safra, com e sem consórcio com gramínea, e observaram que doses acima daquelas recomendadas pelos métodos tradicionais, promoveram a melhoria dos parâmetros químicos de solo, nutricionais das duas culturas comerciais, e incremento de produtividade nos dois sistemas de produção (soja e milho sem consórcio, e soja e milho com consórcio), sendo que os efeitos, foram mais acentuados quando realizado o consórcio de gramínea junto com o milho.

A fim de se avaliar a interferência da calagem no sistema de produção em questão (soja/milho segunda safra) ao longo dos anos, considerando que muitos agricultores acabam por diluir o alto investimento inicial realizado ao longo das safras, foi realizada a análise da média de produtividade que cada tratamento proporcionou a cada cultura após 5 safras de cultivo de soja e milho segunda safra, conforme apresentado na Tabela 6 e Figura 3.

Tabela 6. Produtividade média de acordo com cada dose calcário em 5 safras de soja e 5 safras de milho, em solo argiloso, no município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário (t ha ⁻¹)	Soja Produtividade média de 5 safras (kg ha ⁻¹)	Milho
0	3.650,62	8.990,01
2	3.776,34	9.304,88
4	3.835,01	9.219,00
6	3.734,65	9.823,73
8	3.815,79	9.572,12
10	3.846,65	9.892,24
12	3.659,69	9.547,55
Média	3.759,82	9.478,50
p valor	ns	*
CV (%)	4,93	4,62

*significativo 0,1 < p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

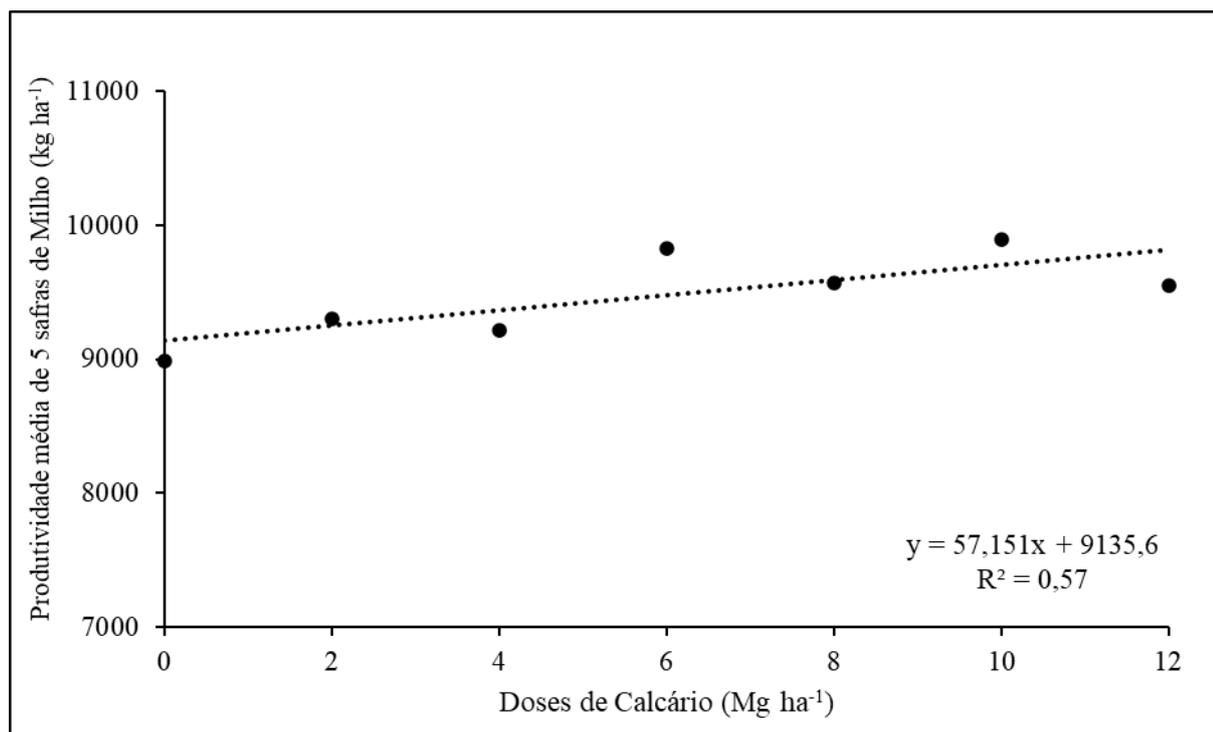


Figura 3. Produtividade média de milho de 5 safras, em kg ha⁻¹, em solo argiloso, no município de Paraíso do Tocantins/TO.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Para a cultura da soja, conforme os resultados obtidos neste trabalho, não houve influência dos tratamentos na produtividade acumulada após 5 safras. Contudo, para a cultura do milho, após 5 safras de cultivo, foi possível avaliar incremento de 57 kg ha⁻¹ (aproximadamente 1 saca ha⁻¹) a cada tonelada de calcário aplicada, conforme ajuste linear obtido (Figura 3).

A fim de se verificar a ação de doses de calcário ao longo dos anos, na conversão de área de vegetação nativa (Cerrado) para agricultura (sistema de produção apenas com soja cultivada no verão) no Piauí, em região com regime hídrico diferente ao deste trabalho, e solo caracterizado como Latossolo Amarelo distrófico com 15% de argila, Oliveira et al. (2024) verificaram incrementos de produtividade em dois anos de cultivo de soja nas doses até 10 Mg ha⁻¹, sendo esta, maior do que a recomendada pelo método de neutralização de Al e aumento de cálcio e magnésio (5 Mg ha⁻¹) e elevação da saturação de bases para 50% (2,7 Mg ha⁻¹).

Os desafios do manejo da fertilidade do solo na implantação do sistema de cultivos de grãos ou do sistema plantio direto, são muitos e vão além de decisões técnicas/agronômicas. É de extrema importância a viabilidade econômica do manejo em si, principalmente em práticas como a calagem, em que o aporte financeiro deve ser realizado no ato de compra deste insumo, sem a possibilidade de parcelamento ao longo dos anos, onerando os custos de implantação do cultivo de lavouras comerciais.

Estudos como este são importantes para avaliar, além dos impactos na fertilidade do solo e nutrição das culturas, o retorno econômico que as doses de calcário maiores do que as recomendadas pelos métodos tradicionais de correção de solo podem proporcionar ao agricultor. Além disso, avaliar o desempenho dos sistemas de produção (safra e segunda safra) em função do manejo da fertilidade do solo em áreas de conversão de pastagens, também são importantes para entender e verificar possibilidades que possam ser economicamente viáveis para agricultores, tendo em vista, que em muitos casos, é realizado cultivo com interesses comerciais diretos apenas na safra de verão, deixando a área em pousio ou com coberturas verdes na segunda safra (devido a maior restrição hídrica e risco).

Para as condições ambientais do local deste estudo, com solo argiloso e alto índice pluviométrico (características que possibilitam o cultivo de segunda safra), e o manejo da fertilidade do solo (correção dos teores de fósforo e potássio, sem correção de micronutrientes e adequadas adubações de manutenção das culturas ao longo dos anos) do presente trabalho, as maiores doses de calcário proporcionaram, na média de 5 safras, ganhos de produtividade para o milho cultivado na segunda safra. Vale ressaltar, que as respostas podem ser variáveis,

principalmente, de acordo com as condições climáticas em cada ano safra (conforme observado neste trabalho com incrementos lineares para produtividade do milho na safra em que houve estresse hídrico em fase crítica da cultura). Este resultado, evidencia a importância e a influência que a calagem, através de maiores doses do que as comumente utilizadas, pode proporcionar ao sistema de produção.

4.2. Influência das doses de calcário nas concentrações foliares de nutrientes da soja

A Tabela 7 apresenta os resultados das concentrações de macronutrientes nas folhas de soja em função dos tratamentos, e a Tabela 8 apresenta todos os ajustes de regressões para cada variável, os quais estão representados na Figura 4. As concentrações ideais de nutrientes em folhas de soja estabelecidas por Sousa & Lobato (2004), serão utilizadas como referência para todas as interpretações das concentrações de nutrientes foliares das culturas da soja e milho deste trabalho.

Para as safras de 2018/19 e 2020/21, não houve nenhuma interferência significativa dos tratamentos nas concentrações foliares dos nutrientes. Para a safra 2018/2019, os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre, em todos os tratamentos, e na dose de 2 Mg ha⁻¹ para o magnésio, estão abaixo da faixa considerada ideal para a cultura, e para a safra 2020/21, apenas o nitrogênio apresentou concentrações abaixo das consideradas ideais para a soja, evidenciando a deficiência nutricional desses nutrientes na cultura.

Tabela 7. Concentração de macronutrientes nas folhas de soja em função das doses de calcário, durante 5 safras no município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário — Mg ha ⁻¹ —	Safr 18/19					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
0	20,35	1,53	20,18	11,26	3,03	2,03
2	18,53	1,53	18,00	9,91	2,90	1,85
4	15,02	1,49	18,48	11,52	3,15	1,50
6	16,66	1,46	18,86	10,83	3,15	1,67
8	14,53	1,53	18,66	10,93	3,10	1,45
10	15,06	1,64	18,21	9,88	3,20	1,51
12	15,10	1,57	18,10	10,34	3,33	1,51
Faixa Ideal⁽¹⁾	45-55	2,5-5,0	17-25	4,0-20	3,0-10	2,1-4,0
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	18,87	7,35	10,09	11,8	8,23	18,87

Tabela 7. Continuação...

Doses de Calcário	Safrá 19/20					
	N	P	K	Ca	Mg	S
— Mg ha ⁻¹ —	g kg ⁻¹					
0	42,39	10,21	27,85	13,27	5,44	19,53
2	47,90	11,56	26,43	11,51	5,36	25,83
4	65,60	10,56	20,50	9,05	4,87	26,26
6	72,76	11,27	17,96	8,93	4,95	27,47
8	58,21	12,01	14,45	7,79	4,66	21,67
10	43,63	9,07	15,27	7,78	4,49	25,33
12	47,52	10,13	18,30	8,92	5,29	28,29
Faixa Ideal⁽¹⁾	45-55	2,5-5,0	17-25	4,0-20	3,0-10	2,1-4,0
p valor	ns	*	**	**	ns	ns
CV	37,67	10,74	18,09	16,34	12,53	19,89
Doses de Calcário	Safrá 20/21					
	N	P	K	Ca	Mg	S
— Mg ha ⁻¹ —	g kg ⁻¹					
0	37,68	3,53	26,55	10,53	4,10	3,28
2	38,73	3,33	24,38	10,75	4,40	3,33
4	35,98	3,45	24,75	10,45	4,45	3,38
6	37,78	3,93	25,23	12,00	5,20	3,83
8	37,75	3,48	23,10	11,23	4,83	3,63
10	38,80	3,90	24,45	11,10	4,78	3,73
12	38,33	3,80	22,10	10,83	4,73	3,48
Faixa Ideal⁽¹⁾	45-55	2,5-5,0	17-25	4,0-20	3,0-10	2,1-4,0
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	8,66	14,76	17,64	14,94	15,21	10,8
Doses de Calcário	Safrá 21/22					
	N	P	K	Ca	Mg	S
— Mg ha ⁻¹ —	g kg ⁻¹					
0	43,78	2,93	24,20	11,30	5,58	3,63
2	43,83	2,63	21,28	10,68	4,95	3,38
4	42,88	2,50	20,28	12,58	4,55	3,25
6	40,95	2,63	21,18	12,43	4,78	3,28
8	36,98	2,75	22,30	12,65	4,93	3,33
10	37,73	2,80	20,83	14,13	4,85	3,30
12	38,15	2,70	20,10	14,25	5,43	3,45
Faixa Ideal⁽¹⁾	45-55	2,5-5,0	17-25	4,0-20	3,0-10	2,1-4,0
p valor	**	ns	ns	**	*	*
CV	7,29	7,07	10,12	5,56	9,84	5,23

Tabela 7. Continuação...

Doses de Calcário — Mg ha ⁻¹ —	Safrá 22/23					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
0	44,88	2,63	23,05	6,75	3,65	1,88
2	45,65	2,70	24,18	6,40	3,85	1,80
4	46,00	2,78	23,13	6,68	4,18	1,95
6	45,05	2,75	22,00	6,63	4,38	1,83
8	45,05	2,85	22,48	6,65	4,53	1,83
10	41,55	2,68	23,08	6,78	4,43	1,70
12	43,28	2,85	23,03	7,20	4,80	1,68
Faixa Ideal⁽¹⁾	45-55	2,5-5,0	17-25	4,0-20	3,0-10	2,1-4,0
p valor	*	*	*	*	**	ns
CV	3,64	3,97	3,12	4,91	4,81	7,39

⁽¹⁾Faixa de concentrações ideais segundo Souza & Lobato (2004). *significativo 0,1 < p valor < 0,01; **significativo p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 8. Equações dos ajustes de regressões utilizadas para concentração de macronutrientes nas folhas de soja em função de doses de calcário.

Variável	Safrá	R ²	Equação
N	2021/22	0,82	y = -0,6246x + 44,358
	2022/23	0,49	y = -0,2491x + 45,988
P	2019/20	0,33	y = -0,0329x ² + 0,327x + 10,434
	2022/23	0,40	y = 0,0125x + 2,6714
K	2019/20	0,59	y = 16,00 - 1,78(x-7,0327) se x < 7,03; y = 16,00 se x ≥ 7,03
	2019/20	0,97	y = 0,0736x ² - 1,271x + 13,409
Ca	2021/22	0,85	y = 0,2826x + 10,876
	2022/23	0,44	y = 0,0371x + 6,5027
Mg	2021/22	0,84	y = 0,0222x ² - 0,2719x + 5,4815
	2022/23	0,92	y = 0,0884x + 3,7268
S	2021/22	0,89	y = 0,0076x ² - 0,1018x + 3,5875

*significativo 0,1 < p valor < 0,01; **significativo p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

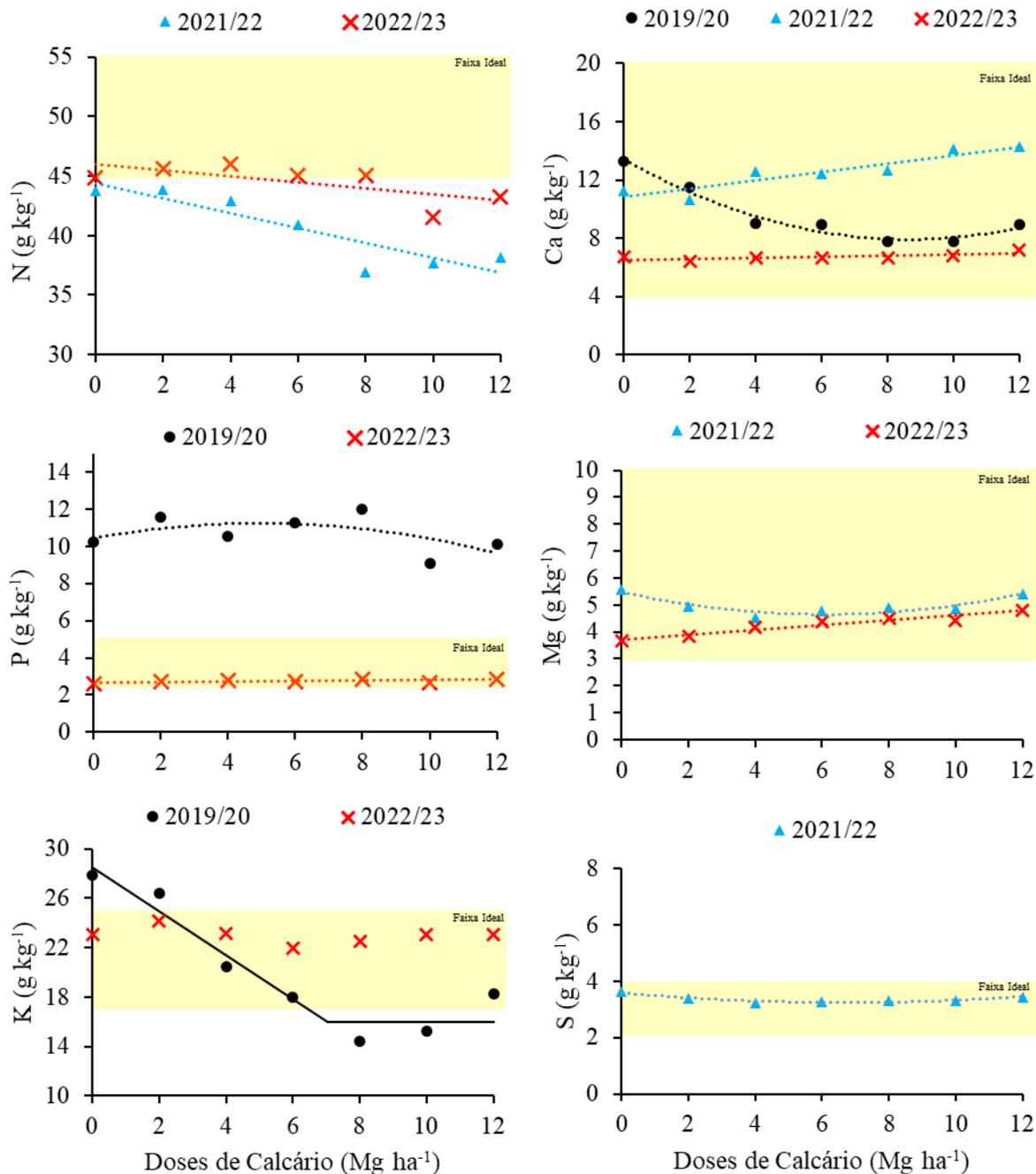


Figura 4. Ajustes de regressões para macronutrientes nas folhas de soja em função das doses de calcário.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Vale ressaltar que, conforme observado na Tabela 7 e Figura 4, o fato de algumas concentrações de nutrientes se encontrarem acima da faixa considerada ideal segundo Souza & Lobato (2004), pode estar relacionado aos novos materiais genéticos, que podem apresentar maiores concentrações de nutrientes nas folhas, comparado com aqueles utilizados para determinação das faixas ideais no boletim.

As concentrações foliares de nitrogênio foram influenciadas nas safras de 2021/22 e

2022/23, reduzindo com as doses de calcário. As concentrações ficaram abaixo da faixa considerada ideal na safra 2021/22, em todos os tratamentos. Na safra 2022/23 as concentrações ficaram abaixo apenas nos tratamentos controle, 10 e 12 Mg ha⁻¹. Além disso, nos tratamentos controle e 10 Mg ha⁻¹, da safra 2019/20, e em todos os tratamentos da safra 2020/21, as concentrações de nitrogênio também se apresentaram abaixo da faixa ideal. Alguns trabalhos da literatura mostram o impacto do aumento do pH do solo na fixação biológica de nitrogênio, em especial da soja, onde valores de pH entre 5,5 e 6,0, proporcionam maiores números e pesos de nódulos. Este aspecto reflete no melhor suprimento de nitrogênio pela soja, podendo resultar em maiores concentrações de N nas folhas (BEKERE, 2013; BAKARI et al., 2020; ALVES et al., 2021; KOLLIE & SEMU, 2022; ALVES, 2023).

Contudo, no presente trabalho, foi visualizado comportamento contrário a este, corroborando com os resultados encontrados por Caires et al. (2001), em que os autores observaram a redução dos teores foliares de nitrogênio na soja, quando o calcário foi aplicado de forma incorporada, entretanto, houve maior acúmulo de nitrogênio pela parte aérea das plantas, tendo em vista o aumento da produção de matéria seca, ocasionando efeito de diluição do nutriente nas folhas.

Para o fósforo, os tratamentos apresentaram influências nas concentrações foliares na safra de 2019/20. A dose de 8 Mg ha⁻¹ proporcionou maior concentração na folha, com decréscimo para as doses de 10 e 12 Mg ha⁻¹, e na safra de 2022/23, onde o aumento das doses de calcário, aumentou as concentrações na folha da soja. As concentrações foliares de fósforo ficaram abaixo da faixa considerada ideal apenas para a safra de 2018/19.

O potássio também foi influenciado pelos tratamentos, sendo observado redução das concentrações foliares até a dose de 7 Mg ha⁻¹ na safra de 2019/20. Para a safra de 2022/23, devido a falta de ajuste do modelo linear e quadrático, foi realizada análise de contraste ortogonal entre os tratamentos, conforme apresentado na Tabela 9, onde foi possível verificar que a dose de 2 Mg ha⁻¹ proporcionou a melhor concentração foliar. Apenas os tratamentos 8 e 10 Mg ha⁻¹ da safra 2019/20 apresentaram concentrações abaixo da faixa considerada ideal.

Tabela 9. Contrastes ortogonais para concentração foliar de potássio em folha de soja, na safra 2022/23.

Variável	Contraste	Diferença Estimada (g kg ⁻¹)
	Safrá 2022/23	
K	0 vs 2, 4, 6, 8, 10, 12	-0,07
	2, 4, 6 vs 8, 10, 12	-0,24
	6 vs 8	0,48
	8 vs 12	0,55
	2 vs 4	-1,05*
	2 vs 6	-2,18**

*significativo 0,1 < p valor < 0,01; **significativo p valor < 0,01.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Os tratamentos influenciaram as concentrações foliares de cálcio nas safras 2019/20, 2021/22 e 2022/23. Para a safra 2019/20 os teores foram reduzidos até a dose de 6,3 Mg ha⁻¹, conforme modelo quadrático ajustado. Este resultado não era esperado para o cálcio, mas sim o aumento das suas concentrações em função do aumento da dose de calcário, como observado para os anos de 2021/22 e 2022/23. O aumento dos teores foliares de cálcio ao longo das safras está relacionado a reação gradual do calcário ao longo dos anos, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as culturas. Todas as safras apresentaram concentrações foliares ideais de cálcio.

O magnésio também sofreu influência dos tratamentos para as safras 2021/22 e 2022/23. Na safra 2021/22 as doses de 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹ proporcionaram as menores concentrações foliares, e na safra 2022/23, a concentração de magnésio foliar aumentou conforme o aumento da dose de calcário, semelhante ao encontrado para o cálcio, indicando a maior disponibilidade deste nutriente para as plantas. Apenas o tratamento de 2 Mg ha⁻¹ na safra de 2018/19 apresentou concentração foliar de magnésio abaixo da faixa considerada ideal para a cultura da soja.

Quanto ao enxofre, os tratamentos influenciaram as concentrações foliares na safra 2021/22, onde as doses de 4 e 6 Mg ha⁻¹ proporcionaram menores concentrações. Contudo, nenhum tratamento proporcionou teores de enxofre abaixo da faixa de concentração considerada ideal, diferente do observado para a safra 2022/23, em que todos os tratamentos proporcionaram teores abaixo da faixa considerada ideal para este nutriente, apesar dos tratamentos não terem influenciado nas concentrações foliares, indicando deficiência nutricional deste nutriente para a cultura.

Os micronutrientes também tiveram respostas variadas e conforme a safra (Tabelas 10 e 11, Figura 5). Para o boro, as doses de calcário não influenciaram nas concentrações foliares

em nenhuma das safras avaliadas, apresentando-se abaixo das concentrações ideais apenas na safra 2018/19 em todos os tratamentos. Rosolem et al. (2008) ao avaliarem o efeito de doses de calcário e boro em soja em Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso no estado do Mato Grosso, também não observaram efeitos das doses de calcário no teor de boro foliar.

Com relação aos micronutrientes metálicos, nas safras em que os tratamentos influenciaram significativamente as concentrações foliares, os mesmos apresentaram comportamento semelhante em todos os casos, onde as menores doses de calcário apresentaram as maiores concentrações foliares desses elementos, com exceção do ferro na safra 2018/19, onde houve aumento da concentração foliar até a dose de 8 t ha⁻¹.

Tabela 10. Concentração de micronutrientes nas folhas de soja em função das doses de calcário, durante 5 safras no município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário	Safra 18/19				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— Mg ha ⁻¹ —	mg kg ⁻¹				
0	20,97	4,47	125,07	51,18	14,59
2	19,42	4,34	114,34	36,25	14,34
4	19,81	3,53	142,37	42,42	12,03
6	20,12	3,88	145,68	33,19	10,52
8	19,12	4,20	178,63	36,14	11,34
10	19,58	4,07	133,64	33,33	11,50
12	19,19	4,04	143,77	32,34	11,51
Faixa Ideal⁽¹⁾	21-55	10-30	51-350	21-100	20-50
p valor	ns	ns	*	**	**
CV	7,93	14,96	16,94	15,01	12,16
Doses de Calcário	Safra 19/20				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— Mg ha ⁻¹ —	mg kg ⁻¹				
0	71,47	8,04	192,68	47,21	35,21
2	70,73	8,50	223,82	44,12	38,48
4	75,69	8,31	186,88	40,28	34,66
6	72,36	8,18	209,22	36,13	32,40
8	71,63	7,97	185,79	32,40	29,64
10	67,48	7,27	133,13	27,00	27,33
12	74,19	7,66	152,83	31,67	26,12
Faixa Ideal⁽¹⁾	21-55	10-30	51-350	21-100	20-50
p valor	ns	ns	*	**	**
CV	8,18	14,25	18,21	13,49	12,4

Tabela 10. Continuação...

Doses de Calcário	Safrá 20/21				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— Mg ha ⁻¹ —	mg kg ⁻¹				
0	73,35	14,70	227,93	63,10	39,23
2	75,95	14,10	221,98	54,03	36,83
4	87,30	13,28	217,43	50,18	38,13
6	99,18	14,40	257,18	52,93	42,83
8	92,80	12,93	241,18	46,85	32,78
10	88,83	12,93	239,73	46,05	37,50
12	89,13	12,95	235,80	44,73	30,95
Faixa Ideal⁽¹⁾	21-55	10-30	51-350	21-100	20-50
p valor	ns	ns	ns	**	ns
CV	18,19	12,72	14,37	10,88	15,09
Doses de Calcário	Safrá 21/22				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— Mg ha ⁻¹ —	mg kg ⁻¹				
0	67,65	10,53	101,33	33,53	39,23
2	61,03	9,45	93,70	25,45	34,25
4	65,75	6,83	89,95	17,08	29,63
6	60,08	7,08	91,83	17,48	31,50
8	63,28	7,15	84,43	13,38	27,75
10	65,00	6,95	90,30	11,03	27,10
12	64,85	7,63	88,13	12,78	31,38
Faixa Ideal⁽¹⁾	21-55	10-30	51-350	21-100	20-50
p valor	ns	**	ns	**	**
CV	8,08	11,07	11,73	15,56	9,04
Doses de Calcário	Safrá 22/23				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— Mg ha ⁻¹ —	mg kg ⁻¹				
0	56,90	7,00	96,48	29,35	25,60
2	58,00	7,25	91,20	24,20	30,63
4	55,95	7,45	96,55	23,23	28,13
6	59,68	7,35	94,80	20,53	33,35
8	57,28	7,08	94,58	18,15	25,30
10	51,98	6,98	90,35	17,43	33,90
12	54,28	7,33	93,43	16,38	26,78
Faixa Ideal⁽¹⁾	21-55	10-30	51-350	21-100	20-50
p valor	ns	ns	ns	**	ns
CV	6,23	7,46	8,42	7,71	23,6

⁽¹⁾Faixa de concentrações ideais segundo Souza & Lobato (2004). *significativo 0,1 < p valor < 0,01; **significativo p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

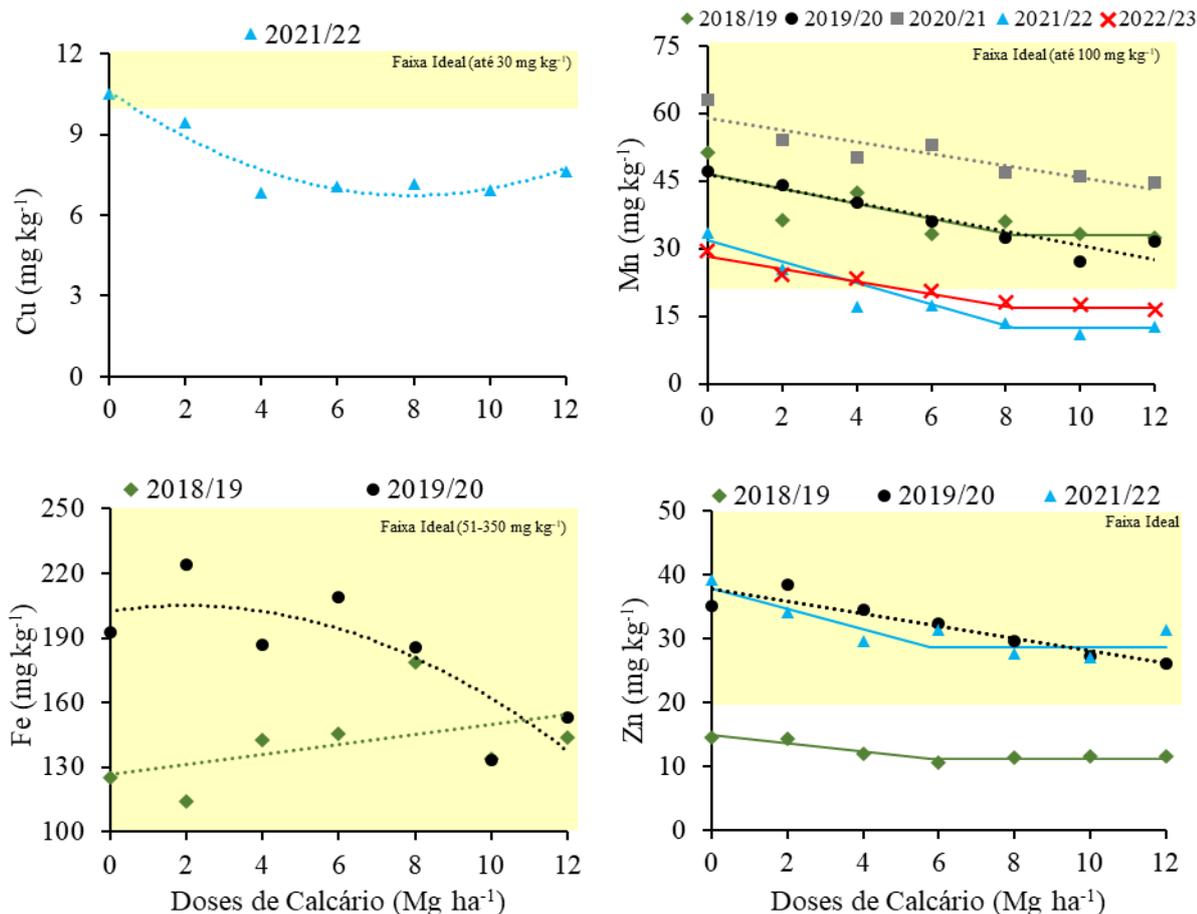


Figura 5. Ajustes de regressões para micronutrientes nas folhas de soja em função das doses de calcário.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 11. Equações dos ajustes de regressões utilizadas para concentração de micronutrientes nas folhas de soja em função de doses de calcário.

Variável	Safra	R ²	Equação	p valor (ANOVA)
Cu	2021/22	0,90	$y = 0,0611x^2 - 0,9719x + 10,598$	**
Fe	2018/19	0,25	$y = 2,3387x + 126,47$	*
	2019/20	0,66	$y = -0,6767x^2 + 2,7275x + 202,3$	*
Mn	2018/19	0,35	$y = 32,83 - 1,6579(x - 8,22)$ se $x < 8,22$; $y = 32,83$ se $x \geq 32,83$	**
	2019/20	0,89	$y = -1,5841x + 46,478$	**
	2020/21	0,82	$y = -1,3286x + 59,093$	**
	2021/22	0,83	$y = 12,39 - 2,8263(x - 6,89)$ se $x < 6,89$; $y = 12,39$ se $x \geq 6,89$	**
	2022/23	0,85	$y = 16,90 - 1,3037(x - 8,75)$ se $x < 8,75$; $y = 16,90$ se $x \geq 8,75$	**
Zn	2018/19	0,49	$y = 11,21 - 0,6419(x - 5,79)$ se $x < 5,79$; $y = 11,21$ se $x \geq 5,79$	**
	2019/20	0,88	$y = -0,9751x + 37,827$	**
	2021/22	0,50	$y = 28,74 - 1,39(x - 6,53)$ se $x < 6,53$; $y = 28,74$ se $x \geq 6,53$	**

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Para o manganês, nas safras 2019/20 e 2020/21, as concentrações foliares reduziram linearmente conforme o aumento da dose. Nas safras 2018/19, 2021/22 e 2022/23, observou-se que houve diminuições somente até as doses de 8,2 Mg ha⁻¹, 6,8 Mg ha⁻¹ e 8,7 Mg ha⁻¹, respectivamente, indicando que o impacto negativo que se esperava das maiores doses, não foi tão acentuado quanto nas outras duas safras. Esse resultado mostra que a maior redução das concentrações foliares pode acontecer até aproximadamente a dose de 9 Mg ha⁻¹, estabilizando para as maiores doses. Comportamento semelhante foi observado para concentração do zinco, que foi reduzida linearmente com o aumento das doses. Nas safras 2018/19 e 2021/22, suas concentrações foram reduzidas apenas até as doses de 5,8 Mg ha⁻¹ e 6,5 Mg ha⁻¹, apresentando-se menos sensível ao aumento das doses do que o manganês.

Na ciência é conhecido o impacto negativo que o calcário apresenta sobre a disponibilidade dos micronutrientes no solo para as plantas, devido ao aumento do pH no solo, o que pode refletir na concentração foliar desses elementos (RITCHEY et al., 1982; MASCARENHAS et al., 1988; TANAKA et al., 1993; CAIRES & FONSECA, 2000; CAIRES et al., 2001; CAIRES, et al., 2003; MASCARENHAS et al., 2014). Através dos resultados obtidos no presente trabalho, para a cultura da soja, pode-se observar que o micronutriente mais influenciado pelas doses de calcário foi o manganês, evidenciando a importância do manejo deste nutriente quando há calagem, independente da dose. Em seguida, o zinco apresentou diminuição significativa dos teores foliares em três, das cinco safras avaliadas (2018/19, 2019/20 e 2021/22). Dentre os micronutrientes, o cobre foi o que apresentou menor influência dos tratamentos avaliados, apresentando diminuição significativa com o aumento da calagem apenas na safra 2021/2022.

Apesar da interferência negativa das doses de calcário, os teores de manganês ainda se mantiveram em boas concentrações nas safras 2018/19, 2019/20 e 2020/21, assim como o ferro, que apresentou concentrações adequadas em todas as safras avaliadas. Este fato é compreensível tendo em vista que manganês e ferro se encontram em maiores quantidades nos solos nativos do cerrado (LOPES & COX, 1977). Apenas os tratamentos de 4 a 12 Mg ha⁻¹ na safra de 2021/22 e 6 a 12 Mg ha⁻¹ na safra 2022/23 proporcionaram concentrações de manganês abaixo da faixa considerada ideal.

Com relação ao zinco, foi observado concentrações abaixo da faixa considerada ideal apenas para o primeiro ano de cultivo, sendo que mesmo nos anos em que houve impacto negativo das doses de calcário, não foi suficiente para os teores apresentarem-se abaixo da faixa considerada ideal.

Para o cobre, as concentrações foliares apresentaram-se abaixo da faixa considerada ideal em todos os tratamentos nas safras 2018/19, 2019/20 e 2022/23. Para a safra 2021/22, a prática da calagem (em todas as doses) proporcionou concentrações foliares abaixo da faixa considerada ideal. Este fato, evidencia a deficiência deste micronutriente no sistema de produção em questão, e a necessidade de atenção ao seu manejo.

Com o objetivo de avaliar o sistema de produção ao longo dos anos, a Figura 6 evidencia o comportamento das concentrações dos micronutrientes ao longo das safras.

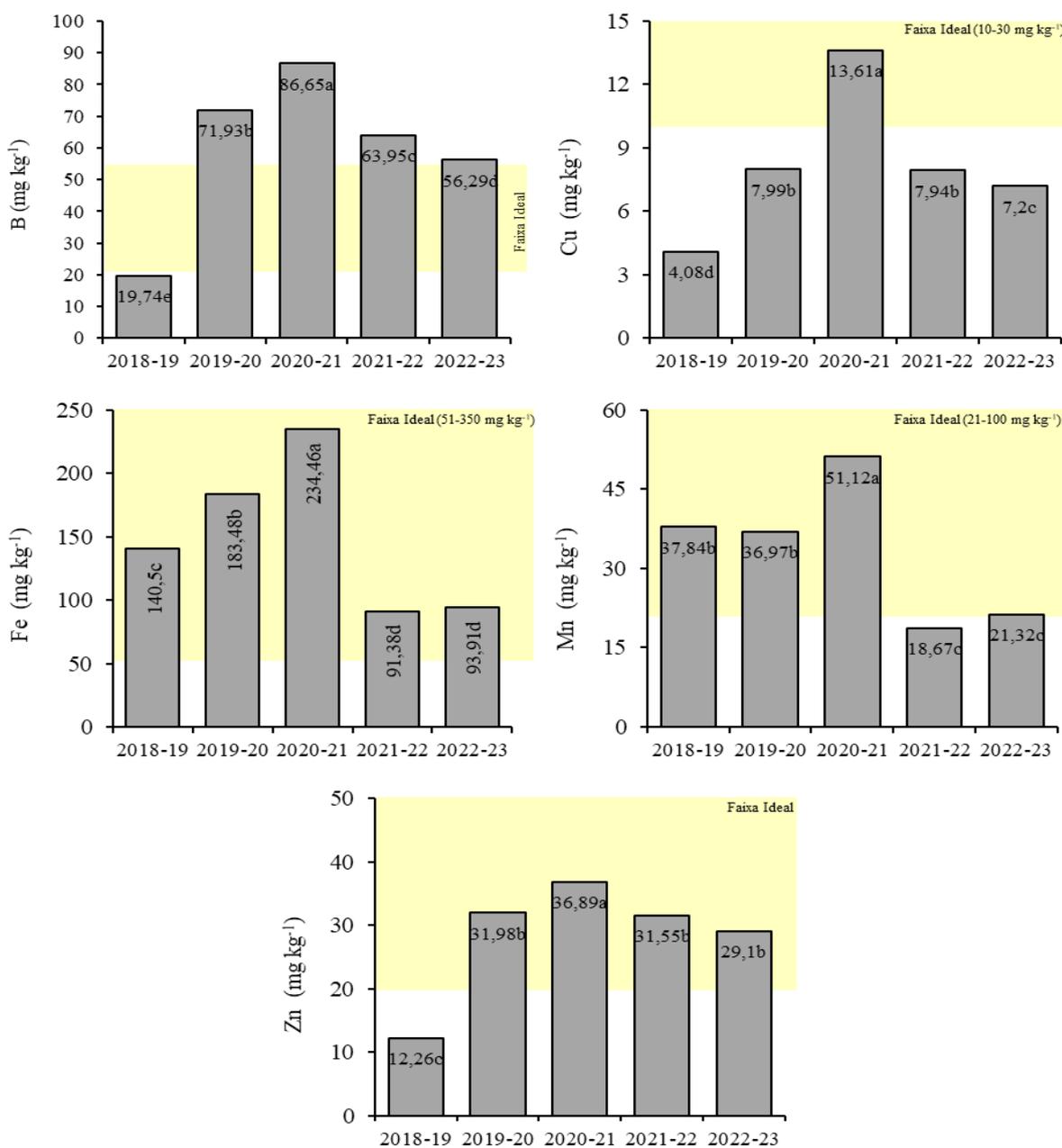


Figura 6. Evolução das concentrações de micronutrientes em folha de soja ao longo de 5 safras. Letras minúsculas diferentes entre si indicam diferença significativa através do teste de Tukey ($p < 0,1$).

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

É possível observar que as médias de concentrações foliares de todos os micronutrientes aumentaram significativamente até a safra 2020/21, havendo decréscimo somente nas duas safras subsequentes (para os macronutrientes não foi observado nenhum efeito agronomicamente explicável entre as safras). Além disso, somente a safra 2020/21 apresentou concentrações foliares adequadas de todos os micronutrientes.

Este comportamento está relacionado a interação do tipo de solo do local (material de origem e teores de matéria orgânica), com o sistema de produção, onde para os três primeiros anos de cultivo, a melhoria do ambiente de produção ao longo dos anos foi mais relevante para as concentrações foliares destes elementos, do que o aumento das doses de calcário (todos os micronutrientes, com exceção do ferro e manganês, apresentaram suas menores concentrações foliares no primeiro ano de cultivo).

Apesar das diferenças observadas nas concentrações foliares de nutrientes na cultura da soja, essas não foram suficientes para influenciar na produtividade, conforme observado no tópico anterior, evidenciando o potencial de produção do ambiente (relação solo, clima e cultura) do presente trabalho.

4.3. Influência das doses de calcário nas concentrações foliares de nutrientes do milho

As Tabelas 12 e 13, e Figura 7 apresentam os resultados das concentrações foliares de macronutrientes para a cultura do milho ao longo dos anos de avaliação. Ao contrário da soja, as concentrações de nutrientes foliares do milho foram mais influenciadas pelos tratamentos, evidenciando o potencial de resposta aos manejos nutricionais desta cultura no cultivo de segunda safra.

Os tratamentos influenciaram as concentrações foliares de nitrogênio no ano de 2020, onde a dose de 2 Mg ha⁻¹ proporcionou maior concentração foliar. No ano de 2021, devido à falta de ajuste de regressão, foi realizada análise de contrastes ortogonais (Tabela 14), sendo a dose de 6 Mg ha⁻¹ que proporcionou maior concentração foliar. Com relação ao fósforo, no ano de 2019, também foi realizada análise de contrastes ortogonais para avaliar a influência dos tratamentos (Tabela 14), onde a dose de 2 Mg ha⁻¹ proporcionou maior concentração. Já nos anos de 2020 e 2023, as concentrações foliares de fósforo aumentaram linearmente em resposta ao aumento da dose de calcário.

Para o cálcio, a calagem influenciou apenas nas safras de 2020 e 2022, com maiores teores para as maiores doses. Já o magnésio foi influenciado positivamente pelas doses em todas

as safras avaliadas, com exceção da safra 2020, em que os maiores teores foram encontrados nas doses de 6 e 8 Mg ha⁻¹. Para os outros anos, as concentrações aumentaram linearmente com o aumento da dose, indicando a sensibilidade do milho a este nutriente.

Tabela 12. Concentração de macronutrientes nas folhas de milho em função das doses de calcário, durante 5 safras no município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário	2019					
	N	P	K	Ca	Mg	S
— Mg ha ⁻¹ —	g kg ⁻¹					
0	35,69	1,42	13,69	5,34	2,77	2,49
2	35,29	1,62	14,11	4,70	2,64	2,13
4	32,73	1,33	12,69	5,45	3,21	1,94
6	36,98	1,57	13,39	5,46	3,61	2,74
8	35,17	1,53	12,83	5,19	3,67	2,38
10	31,92	1,56	12,60	5,17	4,02	2,52
12	32,00	1,56	11,69	5,47	4,31	2,14
Faixa Ideal⁽¹⁾	28-35	1,8-3,0	13-30	2,5-10	1,5-5,0	1,4-3,0
p valor	ns	*	*	ns	**	ns
CV	11,38	8,17	7,43	13,31	16,23	18,2
Doses de Calcário	2020					
	N	P	K	Ca	Mg	S
— Mg ha ⁻¹ —	g kg ⁻¹					
0	32,34	2,13	13,98	2,74	2,48	1,38
2	36,15	2,16	13,38	2,76	3,08	1,26
4	32,57	2,20	13,49	2,94	3,74	1,42
6	34,25	2,98	14,79	3,29	4,29	1,51
8	34,02	3,59	20,04	3,76	4,10	1,21
10	35,90	3,32	17,77	4,12	3,88	1,24
12	29,03	3,16	15,39	3,53	3,23	1,19
Faixa Ideal⁽¹⁾	28-35	1,8-3,0	13-30	2,5-10	1,5-5,0	1,4-3,0
p valor	*	**	*	**	**	*
CV	9,86	14,9	19,21	12,77	16,21	11,81

Tabela 12. Continuação...

Doses de Calcário	2021					
	N	P	K	Ca	Mg	S
— Mg ha ⁻¹ —	g kg ⁻¹					
0	29,98	3,83	25,40	3,68	2,65	2,70
2	29,53	3,80	23,93	3,45	2,93	2,75
4	30,73	3,50	20,85	3,45	3,38	2,63
6	32,30	3,80	21,33	3,35	3,43	2,75
8	29,40	3,48	19,03	3,00	3,55	2,68
10	31,73	4,45	22,58	3,65	4,25	3,25
12	30,15	4,60	22,58	3,83	4,53	3,33
Faixa Ideal⁽¹⁾	28-35	1,8-3,0	13-30	2,5-10	1,5-5,0	1,4-3,0
p valor	*	ns	ns	ns	*	ns
CV	4,47	17,87	16,04	16,57	19,99	17,26
Doses de Calcário	2022					
	N	P	K	Ca	Mg	S
— Mg ha ⁻¹ —	g kg ⁻¹					
0	32,40	3,15	21,73	2,80	1,90	2,00
2	32,50	3,43	21,68	3,18	2,38	2,25
4	32,45	3,18	20,73	3,05	2,80	2,40
6	32,98	3,23	18,88	3,13	2,88	2,38
8	32,35	3,28	19,48	3,00	2,95	2,43
10	33,03	3,43	18,85	3,20	3,18	2,48
12	32,58	3,73	19,55	3,33	3,45	2,70
Faixa Ideal⁽¹⁾	28-35	1,8-3,0	13-30	2,5-10	1,5-5,0	1,4-3,0
p valor	ns	ns	*	*	**	*
CV	4,01	9,67	8,05	5,92	12,58	9,44
Doses de Calcário	2023					
	N	P	K	Ca	Mg	S
— Mg ha ⁻¹ —	g kg ⁻¹					
0	29,22	2,79	2,52	20,54	1,78	1,78
2	29,80	2,91	2,73	21,69	2,03	1,99
4	29,22	3,00	2,96	20,12	2,49	2,33
6	29,75	3,21	2,89	20,15	2,62	2,43
8	29,21	3,17	2,99	20,96	2,81	2,59
10	29,78	3,15	2,91	19,68	2,70	2,55
12	29,09	3,21	2,95	19,51	2,89	2,62
Faixa Ideal⁽¹⁾	28-35	1,8-3,0	13-30	2,5-10	1,5-5,0	1,4-3,0
p valor	ns	**	ns	ns	**	**
CV	1,96	5,94	8,68	6,42	16,71	12,29

⁽¹⁾Faixa de concentrações ideais segundo Souza & Lobato (2004). *significativo 0,1 < p valor < 0,01; **significativo p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

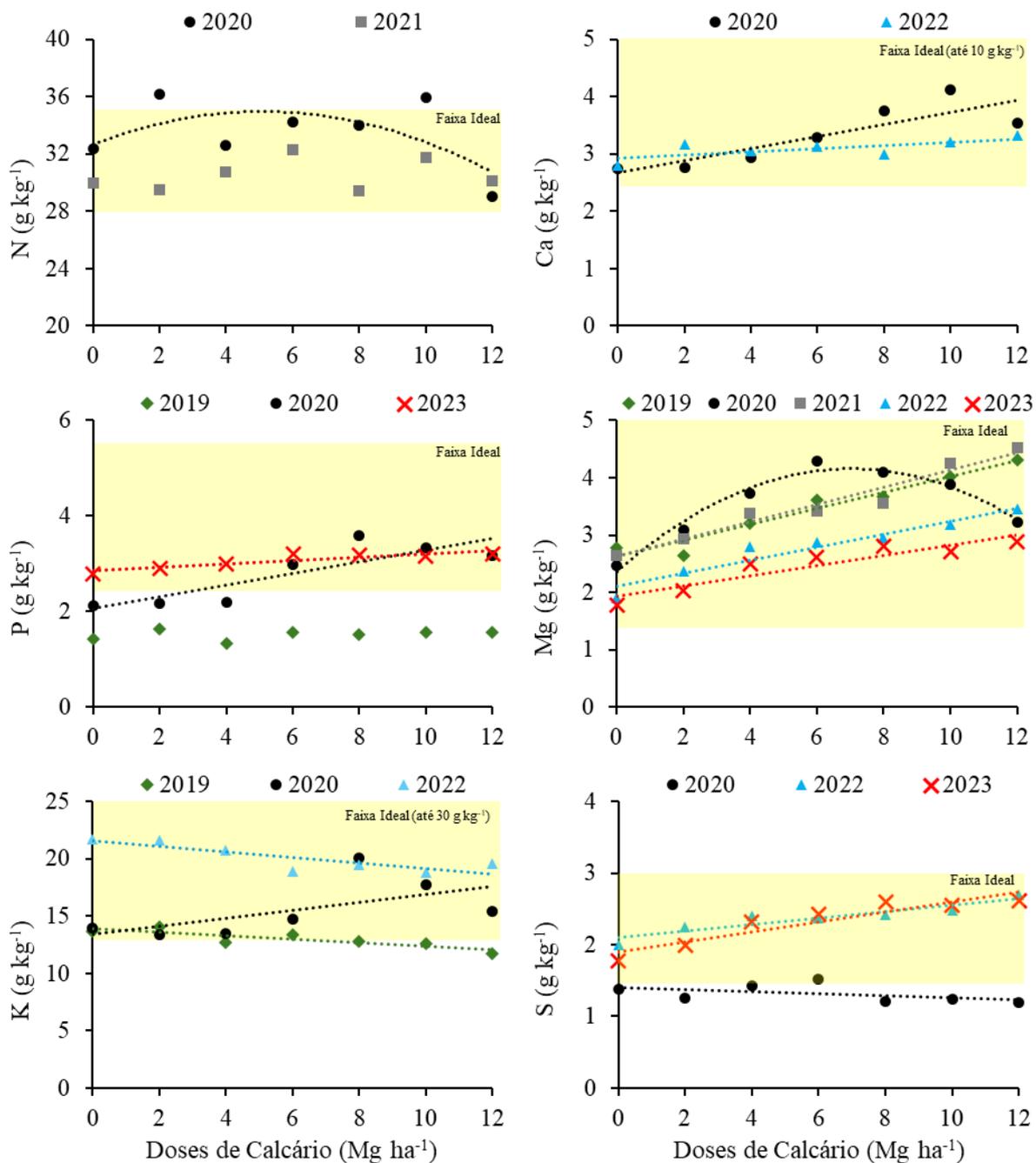


Figura 7. Ajustes de regressões para macronutrientes nas folhas de milho em função das doses de calcário.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 13. Equações dos ajustes de regressões utilizadas para concentração de macronutrientes nas folhas de milho em função de doses de calcário.

Variável	Safra	R ²	Equação	p valor (ANOVA)
N	2020	0,38	$y = -0,0891x^2 + 0,9087x + 32,645$	*
P	2020	0,72	$y = 0,1215x + 2,0637$	**
	2023	0,78	$y = 0,0342x + 2,8569$	**

Tabela 13. Continuação...

K	2019	0,73	$y = -0,1587x + 13,95$	*
	2020	0,37	$y = 0,3491x + 13,455$	*
	2022	0,69	$y = -0,2397x + 21,563$	*
Ca	2020	0,75	$y = 0,1058x + 2,6693$	**
	2022	0,52	$y = 0,0281x + 2,9277$	*
Mg	2019	0,95	$y = 0,14x + 2,6225$	**
	2020	0,97	$y = -0,0361x^2 + 0,5084x + 2,3668$	**
	2021	0,95	$y = 0,1509x + 2,6232$	*
	2022	0,93	$y = 0,1143x + 2,1036$	**
	2023	0,86	$y = 0,0891x + 1,9397$	**
S	2020	0,27	$y = -0,015x + 1,4055$	*
	2022	0,86	$y = 0,046x + 2,0991$	*
	2023	0,87	$y = 0,0698x + 1,9069$	**

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 14. Contrastes ortogonais para concentração foliar de fósforo e nitrogênio em folha de milho.

Variável	Contraste	Diferença Estimada (g kg^{-1})	
		2019	
P	0 vs 2, 4, 6, 8, 10, 12	0,11	
	2, 4, 6 vs 8, 10, 12	0,04	
	6 vs 8	-0,04	
	8 vs 12	0,04	
	2 vs 4	-0,30*	
	2 vs 6	-0,06	
N	2021		
	0 vs 2, 4, 6, 8, 10, 12	0,66	
	2, 4, 6 vs 8, 10, 12	-0,43	
	6 vs 8	-2,90**	
	8 vs 12	0,75	
	2 vs 4	1,2	
	2 vs 6	2,78*	

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

O aumento das doses de calcário influenciou negativamente os teores de potássio na folha do milho nas safras de 2019 e 2022. Já no ano de 2020, houve efeito positivo, sendo a dose de 8 Mg ha⁻¹ a que apresentou maior concentração foliar. Vale ressaltar, que o efeito negativo observado para os teores de potássio pode estar relacionado a competição pelos sítios de absorção da planta, entre magnésio e potássio, devido à similaridade do raio químico dos

dois nutrientes, tendo em vista que nestes mesmos anos, os teores de magnésio aumentaram com as doses de calcário, ocasionando desequilíbrio entre esses nutrientes (PATEL et al., 1993; FONSECA & MEURER, 1997). Caires et al. (2002) e Micheri et al. (2016) também observaram relação inversa aos teores foliares em milho de potássio e magnésio.

O enxofre sofreu influência da calagem em três, das cinco safras avaliadas. Para o ano de 2020, as concentrações foliares apresentaram comportamento linear decrescente, onde as maiores doses proporcionaram as menores concentrações foliares. Já para os anos de 2022 e 2023 foi observado comportamento inverso. Houve aumento linear das concentrações foliares com o aumento da dose de calcário, evidenciando a maior absorção e sensibilidade deste nutriente pelo milho em melhores condições químicas de solo.

Com relação a interpretação das concentrações foliares para os macronutrientes no milho, somente o fósforo, potássio e enxofre apresentaram-se abaixo da faixa considerada ideal em algumas das safras avaliadas. O fósforo apresentou-se abaixo das concentrações ideais apenas na safra de 2019, para todos os tratamentos. O potássio mostrou-se abaixo das concentrações ideais nas doses de 4, 8, 10 e 12 Mg ha⁻¹ na safra de 2019, e em todas as doses na safra de 2023. Para o enxofre, somente na safra de 2020, no tratamento controle e nas doses de 2, 8, 10 e 12 Mg ha⁻¹ observaram-se concentrações foliares abaixo da faixa ideal.

As Tabelas 15 e 16, e a Figura 8 apresentam os resultados obtidos para os micronutrientes na cultura do milho. Semelhante ao observado na cultura da soja, o manganês foi influenciado pelos tratamentos em todas as safras, onde as maiores doses apresentaram os menores teores foliares. Assim como na soja, o boro também não foi influenciado pelos tratamentos em nenhum dos anos avaliados.

Tabela 15. Concentração de micronutrientes nas folhas de milho em função das doses de calcário, durante 5 safras no município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário — Mg ha ⁻¹ —	2019				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
0	3,08	10,60	92,37	46,69	18,12
2	2,62	11,69	79,77	41,15	20,91
4	3,19	10,40	93,86	31,12	19,13
6	2,29	11,86	94,11	32,88	16,74
8	2,51	11,14	90,91	26,64	17,84
10	2,46	11,26	91,22	27,54	16,41
12	2,74	12,93	108,38	31,21	16,00
Faixa Ideal⁽¹⁾	10-25	6-20	30-250	20-200	15-100
p valor	ns	*	ns	**	ns
CV	24,95	7,86	22,73	17,92	15,92

Tabela 15. Continuação...

Doses de Calcário	2020				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— Mg ha ⁻¹ —	mg kg ⁻¹				
0	18,22	8,61	105,20	33,42	22,23
2	15,97	8,13	117,64	26,89	21,15
4	21,17	7,78	99,78	21,74	20,57
6	17,03	8,55	129,53	24,06	22,62
8	13,67	7,69	114,95	21,86	24,37
10	13,57	7,91	122,49	19,02	23,31
12	20,44	7,89	102,39	15,51	16,47
Faixa Ideal⁽¹⁾	10-25	6-20	30-250	20-200	15-100
p valor	ns	*	*	**	**
CV	32,3	5,74	12,03	22,62	10,26
Doses de Calcário	2021				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— Mg ha ⁻¹ —	mg kg ⁻¹				
0	29,50	19,75	267,85	65,45	37,88
2	27,73	17,95	257,60	51,30	35,60
4	21,38	15,95	210,33	40,83	30,25
6	23,78	17,03	225,00	35,15	30,75
8	22,15	16,70	212,93	31,50	26,25
10	24,00	18,70	253,83	33,58	34,83
12	25,13	19,10	263,70	32,38	31,93
Faixa Ideal⁽¹⁾	10-25	6-20	30-250	20-200	15-100
p valor	ns	ns	ns	**	*
CV	18,28	14,69	16,81	15,93	14,94
Doses de Calcário	2022				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— Mg ha ⁻¹ —	mg kg ⁻¹				
0	11,53	16,23	120,58	49,03	25,63
2	12,85	16,88	124,20	42,28	26,93
4	10,95	15,95	116,73	33,93	24,63
6	11,38	16,20	111,98	32,33	25,58
8	11,10	15,28	107,55	26,08	24,20
10	11,03	16,15	113,48	26,30	25,23
12	10,98	16,40	119,68	25,13	24,78
Faixa Ideal⁽¹⁾	10-25	6-20	30-250	20-200	15-100
p valor	ns	ns	ns	**	ns
CV	9,31	5,77	9,05	10,34	8,27

Tabela 15. Continuação...

Doses de Calcário — Mg ha ⁻¹ —	2023				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0	16,99	12,24	159,87	50,17	148,27
2	14,96	12,85	176,78	56,12	161,62
4	21,92	12,82	162,11	45,94	149,67
6	20,32	12,11	167,08	47,08	158,11
8	17,29	13,58	161,32	38,49	153,81
10	20,94	14,29	167,97	41,56	157,10
12	20,18	12,27	176,56	37,42	153,86
Faixa Ideal⁽¹⁾	10-25	6-20	30-250	20-200	15-100
p valor	ns	ns	ns	*	ns
CV	35,01	15,86	9,29	16,64	6,4

⁽¹⁾Faixa de concentrações ideais segundo Souza & Lobato (2004). *significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Com relação ao cobre, o mesmo fora influenciado pelas doses de calcário apenas no ano de 2019. Houve aumento nos seus teores conforme o aumento das doses, ao contrário do que se esperava. Já no ano de 2020, os teores foram reduzidos conforme aumento da dose. Para o ferro houve resposta significativa no ano de 2020, onde a dose de 6 Mg ha⁻¹ proporcionou maior concentração foliar. Comportamento semelhante foi observado para o zinco, que apresentou maior concentração foliar na dose de 8 Mg ha⁻¹, reduzindo para as doses subsequentes.

Tabela 16. Equações dos ajustes de regressões utilizadas para concentração de micronutrientes nas folhas de milho em função de doses de calcário.

Variável	Safra	R ²	Equação	p valor (ANOVA)
Cu	2019	0,39	$y = 0,1227x + 10,676$	*
	2020	0,32	$y = -0,0482x + 8,3679$	*
Fe	2020	0,26	$y = -0,3702x^2 + 4,7361x + 103,97$	*
Mn	2019	0,52	$y = 28,46 - 2,57(x - 6,69)$ se $x < 6,69$; $y = 28,46$ se $x \geq 6,69$	**
	2020	0,86	$y = -1,2383x + 30,643$	**
	2021	0,79	$y = 32,48 - 5,0688(x - 6,1)$ se $x < 6,1$; $y = 32,48$ se $x \geq 6,1$	**
	2022	0,86	$y = 25,83 - 2,922(x - 7,64)$ se $x < 7,64$; $y = 25,83$ se $x \geq 7,64$	**
	2023	0,75	$y = -1,3358x + 53,266$	*
Zn	2020	0,38	$y = -0,0946x^2 + 0,971x + 20,621$	**
	2021	0,63	$y = 0,1682x^2 - 2,4354x + 38,366$	*

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

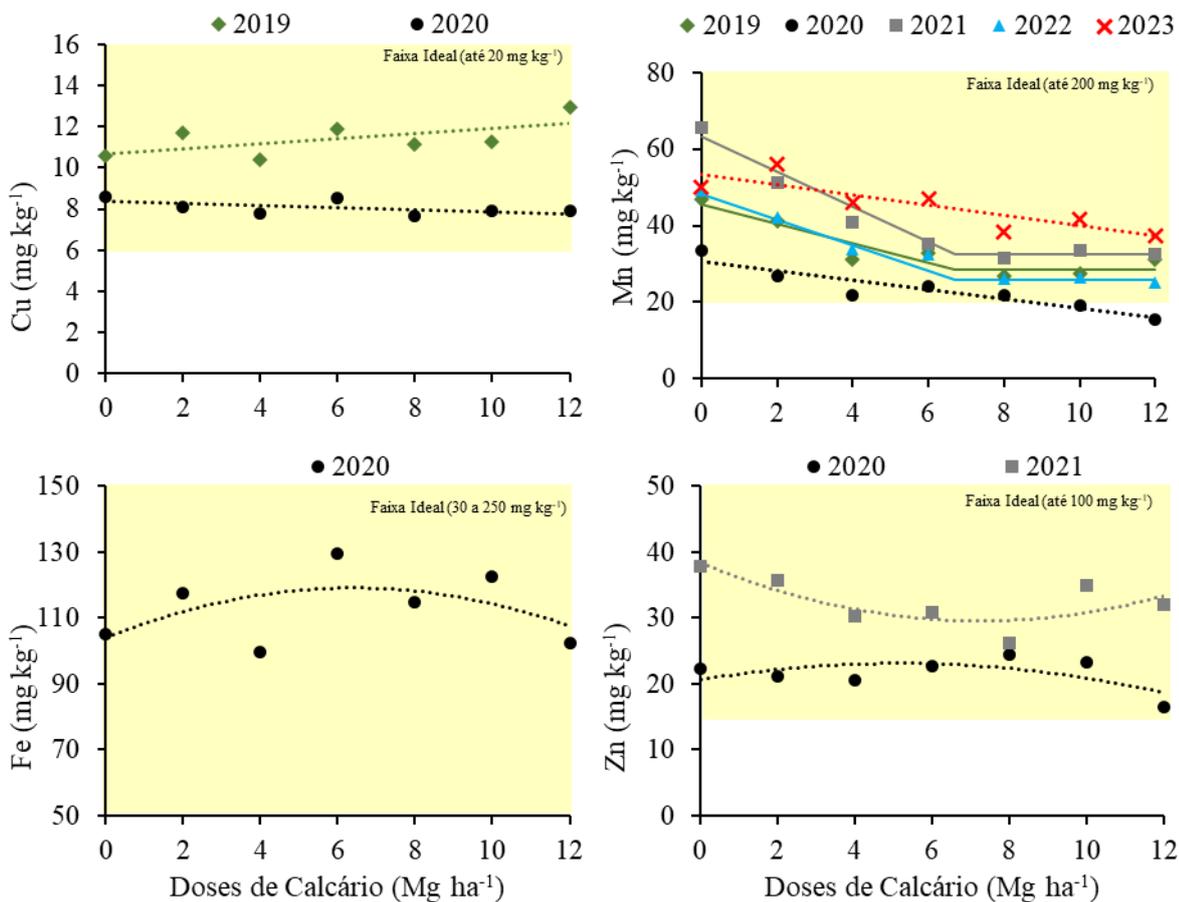


Figura 8. Ajustes de regressões para micronutrientes nas folhas de milho em função das doses de calcário.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Considerando as respostas na produtividade do milho observa-se que na safra de 2021, a diminuição das concentrações foliares de nitrogênio, manganês e zinco, não afetaram o desenvolvimento do milho, tendo em vista incremento linear de produtividade obtido para esta safra. Contudo, para as safras de 2020 e 2022, houve diferença em produtividade entre os tratamentos, com tendência de queda principalmente para a maior dose (12 Mg ha⁻¹). Houve redução da concentração foliar de nitrogênio, enxofre, cobre, manganês e zinco, na safra de 2020, e potássio e manganês, na safra de 2022, indicando desbalanço nutricional para a cultura, o que pode causar impacto negativo na produtividade, como observado nesses anos.

Assim, considerando os resultados de produtividade e concentrações foliares de nutrientes, pode-se afirmar que as doses mais elevadas de calcário podem afetar positivamente o desenvolvimento e a produtividade da cultura ao longo dos anos. Contudo é importante ressaltar a necessidade de atenção a um manejo nutricional completo, principalmente para as doses mais elevadas de calcário (acima de 10 Mg ha⁻¹), tendo em vista que essas estratégias de

correção de solo, também podem causar impactos negativos devido aos desbalanços nutricionais, conforme observado.

4.4. Influência das doses de calcário nos parâmetros químicos de solo

Após 52 meses da aplicação dos tratamentos, observa-se que as doses de calcário influenciaram significativamente os atributos químicos de solo diretamente relacionados a acidez nas profundidades avaliadas. No entanto, observa-se que não houve interferência significativa para acidez potencial (H + Al) na camada de 40 a 60 cm e, também para os teores de alumínio nas camadas de 20 – 40 cm e 40 – 60 cm, conforme apresentado nas Tabelas 17 e 18, e Figura 9.

Os valores de pH (CaCl₂) encontrados na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, no tratamento controle (sem aplicação de calcário), foram os únicos considerados limitantes para a maior disponibilidade dos nutrientes e desenvolvimento das plantas (SOUZA & LOBATO, 2004). Os valores de pH (CaCl₂) permitiram ajustar equações lineares crescentes para todas as camadas, evidenciando a influência das maiores doses de calcário em proporcionar valores mais elevados de pH (CaCl₂) (Figura 9). Já para os valores de acidez potencial, foi ajustado regressão linear decrescente para todas as camadas avaliadas.

Tabela 17. Teores de pH (CaCl₂), H+Al (cmol_c dm⁻³) e alumínio (cmol_c dm⁻³), quatro anos após aplicação incorporada de calcário, em solo argiloso do município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário Mg ha ⁻¹	pH (CaCl ₂)				H+Al cmol _c dm ⁻³				Al			
	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60
0	4,39	4,53	5,26	5,29	4,44	3,82	1,93	0,83	0,11	0,05	0,02	0,01
2	5,18	5,36	5,50	5,55	3,14	2,68	1,70	1,18	0,02	0,03	0,01	0,02
4	5,02	5,02	5,50	5,69	2,95	2,85	1,74	1,13	0,02	0,02	0,01	0,03
6	5,15	5,40	5,70	5,95	2,97	2,44	1,40	0,92	0,01	0,02	0,01	0,03
8	6,11	6,06	6,23	6,29	1,69	1,30	1,08	0,93	0,01	0,01	0,01	0,01
10	5,86	6,31	6,13	6,37	1,77	0,88	0,89	0,74	0,01	0,01	0,01	0,02
12	6,41	6,53	6,28	5,72	0,84	0,83	0,65	0,93	0,01	0,01	0,01	0,01
p valor	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	*	ns	ns
CV (%)	7,65	8,02	5,36	5,76	21,8	24,06	22,23	26,83	43,60	90,78	24,80	35,28

*significativo 0,1 < p valor < 0,01; **significativo p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

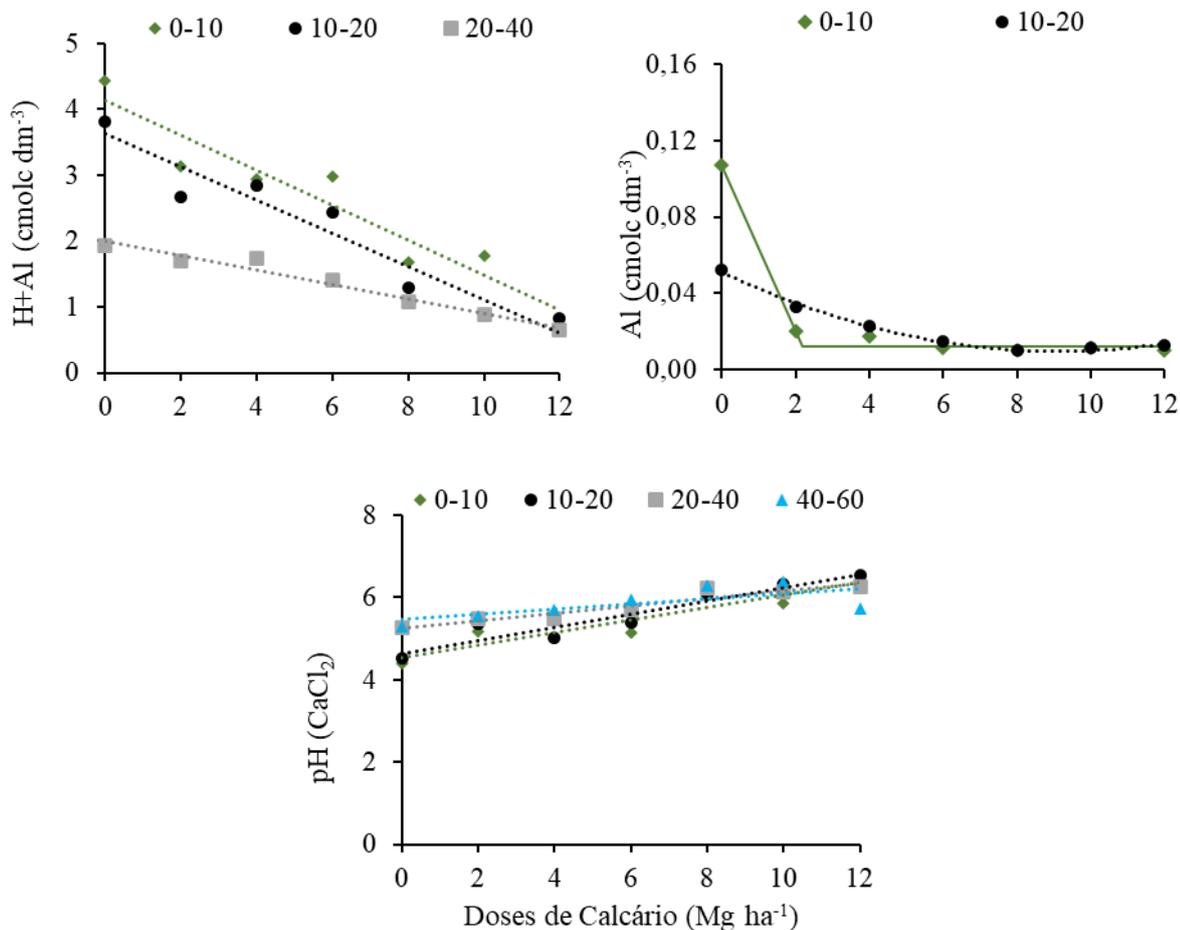


Figura 9. Ajustes de regressões para pH (CaCl₂), acidez potencial e alumínio, em função das doses de calcário.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 18. Equações dos ajustes de regressões utilizadas para pH (CaCl₂), H+Al e Al, em função de doses de calcário.

Variável	Profundidade	R ²	Equação	p valor (ANOVA)
pH (CaCl ₂)	0-10	0,86	$y = 0,1523x + 4,5289$	**
	10-20	0,90	$y = 0,1598x + 4,6436$	**
	20-40	0,90	$y = 0,0901x + 5,258$	**
	40-60	0,48	$y = 0,063x + 5,4596$	**
H+Al	0-10	0,92	$y = -0,2644x + 4,1276$	**
	10-20	0,92	$y = -0,2517x + 3,6238$	**
	20-40	0,96	$y = -0,1092x + 1,9972$	**
Al	0-10	0,89	$y = 0,012 - 0,044(x - 2,18)$ se $x < 2,18$; $y = 0,012$ se $x \geq 2,18$	**
	10-20	0,99	$y = 0,0005x^2 - 0,0091x + 0,051$	*

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Em relação aos valores de alumínio, obteve-se ajuste de linear-plateau para a camada de 0-10 cm, em que a dose de 2,18 Mg ha⁻¹ foi suficiente para diminuir os teores de alumínio a níveis mínimos, e ajuste quadrático para a camada de 10-20 cm, também evidenciando o efeito das maiores doses de calcário proporcionando os menores teores. Para as camadas de 20-40 cm e 40-60 cm, não houve diferença dos tratamentos nos teores de alumínio, os quais apresentaram-se baixos.

A influência do calcário nos parâmetros de acidez do solo é conhecida e divulgada na literatura. Enesi et al. (2023) realizaram meta-análise global sobre o impacto da calagem nos valores de pH de solos e produtividade de culturas, e concluíram que em todos os casos a calagem promove redução da acidez do solo e aumento de produtividade das culturas. Contudo, pesquisas sobre o efeito residual e o impacto de altas doses deste insumo, aplicadas com incorporação no estabelecimento do sistema de plantio direto ou de cultivo convencional de grãos, ainda são necessárias, conforme também concluíram Enesi et al. (2023). Moraes (2019) ao avaliar o efeito de doses até 15 Mg ha⁻¹ de calcário, incorporadas até 40 cm em três tipos de solo, encontrou efeito positivo na fertilidade do perfil de solo das maiores doses até 299 dias após a aplicação.

Segundo os resultados apresentados por Alcarde (2005), o calcário tem efeito de reação teórico de três meses. Contudo, esta reação é dependente de fatores relacionados as características do calcário (granulometria e poder de neutralização), e fatores ambientais, relacionados a acidez e umidade presentes no solo, além do seu poder tampão. Caires et al. (2003) ao avaliarem o efeito da aplicação de calcário em superfície e incorporado, em atributos químicos do solo, constataram efeitos positivos em profundidade relacionados ao pH (CaCl₂) 35 meses após a aplicação do tratamento incorporado, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

Além desses benefícios para a química do solo, a diminuição nos teores de alumínio, e conseqüentemente da saturação por alumínio (m%) no perfil do solo, favorece o desenvolvimento radicular das culturas em profundidade. Alves et al. (2021) avaliaram o efeito da calagem no desenvolvimento de raízes de soja em duas safras, e verificaram incrementos de 37% no peso seco de raízes quando realizada a calagem, além de maior número e peso de nódulos, evidenciando os benefícios desta prática para o desenvolvimento de raízes e microbiologia do solo.

Os valores de cálcio, magnésio e saturação por bases também foram afetados pela aplicação dos tratamentos, conforme apresentado nas Tabelas 19 e 20, e Figura 10. Os

resultados permitiram ajustar modelos de regressão linear crescente para essas variáveis, em todas as profundidades, evidenciando o efeito das maiores doses de calcário na disponibilização desses nutrientes ao longo do perfil do solo (Figura 10).

Tabela 19. Teores de cálcio e magnésio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), e saturação de bases (V%), quatro anos após aplicação incorporada de calcário, em solo argiloso do município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário t/ha	Ca				Mg				Sat. Bases			
	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$				$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$				(V%)			
	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60
0	1,64	1,22	0,80	0,56	0,57	0,38	0,28	0,20	38,39	33,94	41,30	54,36
2	1,88	1,65	0,89	0,64	0,91	0,73	0,40	0,30	51,29	49,41	46,85	49,51
4	1,76	1,50	0,96	0,60	0,83	0,65	0,46	0,31	50,85	46,20	49,31	49,55
6	1,77	1,69	0,86	0,57	0,91	0,90	0,46	0,30	52,41	54,10	53,18	54,12
8	2,24	2,20	1,11	0,75	1,24	1,18	0,63	0,40	70,45	73,54	65,32	67,08
10	2,36	1,95	1,04	0,85	1,24	1,06	0,58	0,46	70,48	79,03	67,76	72,80
12	2,51	2,25	1,27	0,82	1,37	1,20	0,71	0,46	84,22	81,77	77,25	61,40
p valor	*	*	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV	21,78	24,33	18,23	14,31	22,92	26,19	18,73	17,21	13,06	14,04	11,51	14,22

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 20. Equações dos ajustes de regressões utilizadas para cálcio, magnésio e saturação de bases, em função de doses de calcário.

Variável	Profundidade	R ²	Equação	p valor (ANOVA)
Ca	0-10	0,84	$y = 0,0726x + 1,587$	*
	10-20	0,82	$y = 0,0785x + 1,3096$	*
	20-40	0,78	$y = 0,0337x + 0,7864$	*
	40-60	0,75	$y = 0,024x + 0,5381$	**
Mg	0-10	0,89	$y = 0,0622x + 0,6354$	**
	10-20	0,87	$y = 0,065x + 0,4819$	**
	20-40	0,91	$y = 0,0324x + 0,3074$	**
	40-60	0,90	$y = 0,0212x + 0,2205$	**
V%	0-10	0,92	$y = 3,4903x + 38,786$	**
	10-20	0,93	$y = 4,1087x + 35,061$	**
	20-40	0,96	$y = 2,9587x + 39,53$	**
	40-60	0,54	$y = 1,5217x + 49,274$	**

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

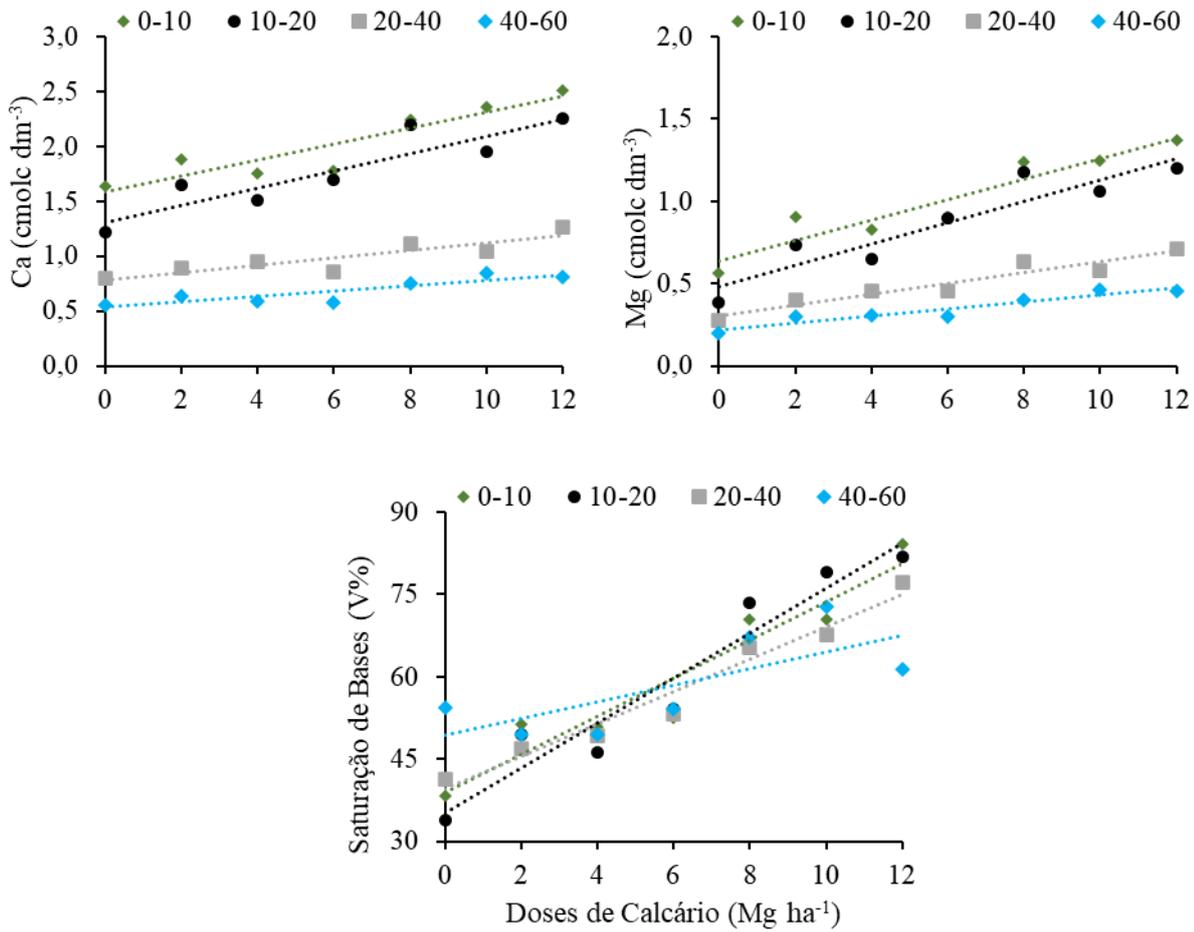


Figura 10. Ajustes de regressões para saturação de bases, cálcio e magnésio, em função das doses de calcário. **Fonte:** Dados do próprio autor, 2024.

Os valores de cálcio encontrados na análise de solo de todos os tratamentos e profundidades são considerados adequados segundo classificação de Souza & Lobato (2004). O fato de o tratamento controle (sem aplicação de calcário) também apresentar teores adequados deste nutriente, inclusive em profundidade, está relacionado a aplicação de 1 Mg ha^{-1} de gesso antes da instalação do ensaio. A aplicação de gesso foi realizada para representar as práticas comumente utilizadas pelos agricultores da região em situações de conversão de áreas de pastagem para agricultura. Contudo, mesmo com este manejo utilizado em área geral, foi possível observar o incremento nos valores de cálcio em função das doses de calcário utilizadas (Figura 10).

Com relação ao magnésio, também houve aumento linear com o aumento da dose, em todas as profundidades avaliadas. Os teores encontrados nas camadas de até 20 cm, em todos os tratamentos, também são considerados adequados, com exceção do tratamento controle, que na média apresentou teor de Mg de $0,47 \text{ cmolc dm}^{-3}$. Este valor está próximo, mas abaixo do

valor de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, considerado adequado (SOUZA & LOBATO, 2004).

Com base nos resultados observados ao longo do perfil do solo, pode-se concluir que o calcário influenciou positivamente os aspectos relacionados à acidez (pH CaCl_2 e alumínio) e saturação de bases. Este comportamento ocorreu principalmente para os teores de cálcio e magnésio em profundidade, até mesmo abaixo da camada onde foi realizada a incorporação (40-60 cm). Nessa camada pode-se observar a magnitude de incremento nos teores desses nutrientes e de saturação de bases que as doses de calcário acima de 8 Mg ha^{-1} proporcionaram, quando comparadas as menores doses. Este fato está relacionado a forma de aplicação e incorporação dessas doses, as quais foram realizadas de forma parcelada, e duas incorporações com grade de 42". Este manejo permitiu distribuição do calcário mais uniforme no perfil do solo, além de estar relacionado a possível movimentação de parte das partículas do calcário para a camada de 40-60 cm devido ao gradiente de correção gerado pelas maiores doses.

Segundo Rheinheimer et al. (2000) a falta de movimentação/revolvimento do solo ao longo dos anos promove o desenvolvimento de canais construídos por meio da atividade biológica e pela percolação da água de chuvas. A depender da dose utilizada, pode haver carreamento dos produtos de dissolução do calcário ou mesmo partículas finas deste, para camadas mais profundas. Além disso, segundo estes autores, a percolação no solo só ocorre após a neutralização dos cátions de caráter ácido (H^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}) da solução do solo onde o calcário se encontra, a qual ocorre em torno de pH (H_2O) 5,5. Contudo, vale ressaltar que os mesmos autores afirmam que esta mobilidade é considerada baixa.

Outros trabalhos na literatura também evidenciaram a influência do calcário em camadas abaixo da camada onde foi realizada a aplicação (PAVAN, 1994; OLIVEIRA & PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998; MIYASAWA et al., 2000; MIYAZAWA, et al., 2002; CAIRES et al., 2003; GONÇALVES et al., 2011). Moraes et al. (2023) também avaliaram o efeito de doses de calcário entre 0 e 15 Mg ha^{-1} , incorporadas até 40 cm de profundidade, e observaram maiores incrementos em profundidade nos valores de pH (H_2O), Ca e Mg, para as maiores doses utilizadas.

Os métodos de recomendação de calagem utilizados no cerrado são os descritos por Souza & Lobato (2004), sendo eles, o critério que considera os teores de alumínio, cálcio e magnésio do solo, e o critério para elevação da saturação por bases a 50%. Considerando estes dois critérios, as doses recomendadas para o solo do presente estudo seriam de $1,23 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $3,79 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, para a camada de 0-20 cm de solo. Para os casos em que se realiza a calagem com incorporação até profundidades de 40 cm (gradagem pesada), não há

método oficial, e na prática, existem técnicos que sugerem utilizar o mesmo método, realizando os cálculos conforme o resultado da análise de solo na camada de 20-40 cm e os valores almejados. Já outros, sugerem multiplicar a dose recomendada para a camada de 0-20 cm por 2.

A fim de se avaliar essas práticas utilizadas por técnicos, considerando a primeira situação, através dos cálculos baseados na análise de solo de 20-40 cm, o método relacionado aos teores de alumínio, cálcio e magnésio determinaria a dose de 1,72 Mg ha⁻¹, para esta camada. Dessa forma, a dose total seria de 2,95 Mg ha⁻¹, considerando a incorporação até 40 cm. Já para o método relacionado a saturação de bases, considerando saturação de 40% na camada de 20-40 cm, resultaria na dose de 1,58 Mg ha⁻¹. Nesse caso, a dose total seria de 5,37 Mg ha⁻¹, considerando a incorporação até 40 cm. Para a segunda situação, onde apenas multiplica-se por 2 as doses sugeridas para a camada de 0-20 cm, as doses seriam de 2,46 Mg ha⁻¹ e 7,58 Mg ha⁻¹.

Sendo assim, por meio dos resultados obtidos neste trabalho, com a amostragem realizada 52 meses após a aplicação dos tratamentos, pode-se observar que os teores de cálcio e magnésio foram atingidos pelo critério da soma dos teores de cálcio e magnésio igual a 2 cmol_c dm⁻³, apenas na camada de 0-20 cm. Os valores de 50% e 40% de saturação de bases na camada de 0-20 cm e 20-40 cm (utilizadas para simulação das doses anterior), foram atingidos por todos os tratamentos.

Atualmente, tem-se discutido sobre a eficiência dos critérios de recomendação de calagem utilizados no cerrado, avaliando a elevação da saturação de bases até o valor almejado e o fornecimento de cálcio e magnésio em menores espaços de tempo, tendo em vista a grande influência da qualidade do corretivo na reação deste no solo. Segundo os trabalhos realizados por Alcarde (2005), a ação de um corretivo de solo depende da sua reatividade e de seu poder de neutralização. Estes parâmetros relacionados a natureza química e física do material são representados pelo Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT). Assim, conforme estabelecido por esse autor, calcários com PRNT de 81%, como o utilizado neste trabalho, tendem a reagir 81% em três meses, sendo o restante, com reação mais lenta, dependente de uma série de fatores, como a granulometria da fração restante e poder tampão do solo.

Na literatura, existem trabalhos evidenciando as dificuldades de se obter a saturação de bases ou os teores de cálcio e magnésio almejados pelas doses definidas através dos principais métodos de recomendação utilizados, principalmente quando as aplicações são em superfície. Alleoni et al. (2005) avaliaram o efeito de doses de calcário incorporadas na elevação da

saturação de bases, sendo almejadas saturações de 50% (dose de 2 Mg ha⁻¹), 70% (dose de 4,9 Mg ha⁻¹) e 90% (dose de 7,8 Mg ha⁻¹), em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso. Os autores constataram que apenas a dose de 2 Mg ha⁻¹ incorporada foi eficiente em atingir o valor estimado aos 6, 18 e 30 meses após a aplicação, sendo que as outras, não atingiram o objetivo em nenhuma das épocas avaliadas.

Quaggio et al. (1982) ao avaliarem a ação de doses de calcário na dinâmica de bases no solo, estimaram a dose de 5 Mg ha⁻¹ visando elevar a saturação de bases a 70%. Contudo, esta saturação somente foi obtida com a dose de 12 Mg ha⁻¹. Araújo et al. (2009) ao avaliarem a influência de calcários com PRNT de 88,3%, 76,2% e 105,3%, aplicados e incorporados em um Latossolo Vermelho para elevação da saturação de bases a 40%, 60% e 80%, constataram que o mais eficiente em elevar a saturação de bases, após dois cultivos de milho, foi o de maior PRNT, contudo, nenhuma das doses utilizadas foram eficientes em atingir as saturações de bases desejadas, independente do PRNT do calcário.

Outro ponto de discussão, como já citado anteriormente, é com relação a elevação da saturação de bases, teores de cálcio e magnésio a teores acima daqueles estabelecidos nos boletins, e os reflexos na produtividade de soja e milho. Fageria (2001) ao avaliar o efeito de altas doses de calcário incorporadas com grade, na fertilidade do solo e produção de culturas comuns ao cerrado, observou o incremento de cálcio e magnésio no perfil de solo e incrementos de até 31% na produtividade da soja quando realizada a calagem. Segundo o autor, a dose de 9 Mg ha⁻¹ foi a que apresentou a máxima eficiência econômica. Moraes et al. (2023) avaliaram o efeito de altas doses de calcário incorporadas nos parâmetros químicos do solo, crescimento de raízes e produtividade de milho consorciado com braquiária em três locais do estado de Minas Gerais. Os autores verificaram aumento significativo nos valores de pH (H₂O), cálcio e magnésio do solo, maior comprimento e volume de raízes de milho consorciado com braquiária. Além disso, também constataram que os melhores resultados para cálcio, magnésio, saturação de bases e pH foram obtidos pela aplicação de doses de calcário entre 9 e 15 Mg ha⁻¹. Estas doses, proporcionaram valores destes parâmetros acima daqueles recomendados pelo critério da elevação de saturação de bases a 70% (0 Mg ha⁻¹ para Lavras/MG; 4,64 Mg ha⁻¹ para Nazareno/MG e 7,43 Mg ha⁻¹ para Ingaí/MG), e isto também influenciou positivamente na produtividade da cultura.

As maiores doses de calcário que foram avaliadas neste trabalho promoveram melhorias nos atributos químicos de solo. Esse comportamento foi semelhante aos trabalhos mencionados, com incrementos relevantes para os teores de cálcio, magnésio e saturação de bases, além dos

efeitos positivos nos parâmetros de acidez. Para as produtividades das culturas, a cultura do milho apresentou respostas significativas para as doses de calcário, em que a dose de 7,4 Mg ha⁻¹ (maior do que àquelas recomendadas pelos critérios oficiais, ou próximo a 2 vezes a dose recomendada para elevação da saturação de bases a 50% na camada de 0-20 cm) apresentou melhor produtividade em dois anos. Além disso, considerando a média das cinco safras avaliadas, houve incremento linear conforme o aumento da dose.

Estes resultados evidenciam a importância das maiores doses de calcário no melhor estabelecimento do sistema de produção, principalmente quando é considerado o efeito residual do calcário na fertilidade do solo e produtividade das culturas, ao longo das safras. Além disso, vale ressaltar, que o sucesso da utilização de altas doses de calcário no estabelecimento do sistema de produção, está relacionado a utilização de estratégias de correção de micronutrientes, tendo em vista resultados obtidos com análises foliares das culturas avaliadas e seus impactos na produtividade de milho.

Os tratamentos não influenciaram significativamente os teores de fósforo no solo mesmo naqueles em que os níveis de pH são considerados altos para a solução do solo (acima de 6,0 em CaCl₂ (Tabela 21). Devido a dinâmica do nutriente no solo, era esperado aumento da disponibilidade de fósforo, com as menores doses, e possível diminuição dos teores para as maiores doses, tendo em vista formação de fosfatos de cálcio insolúveis (HAYNES, 1982; BOLAN et al., 2003; ANTONIADIS et al., 2015). Caires et al. (2003) ao avaliaram o efeito da calagem nos parâmetros químicos de solo, também não encontraram respostas significativas na redução dos teores de P Mehlich⁻¹ no solo, na camada de até 20 cm de profundidade, além de não haver melhoria na eficiência da adubação fosfatada para a soja. Os teores de potássio e enxofre não foram influenciados pelas doses de calcário, com exceção dos teores de enxofre na camada de 40-60 cm (Tabelas 21 e 22, e Figura 11), o qual apresentou incremento com o aumento das doses. Alleoni et al. (2005) também não encontraram diferenças para os teores de potássio, mas para o enxofre houve efeito apenas do modo de aplicação de calcário.

Tabela 21. Teores de potássio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), fósforo e enxofre (mg dm^{-3}), 52 meses após aplicação incorporada de calcário, em solo argiloso do município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário Mg ha^{-1}	K $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$				P Mehlich ⁻¹ mg dm^{-3}				S			
	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60
0	0,62	0,34	0,26	0,22	2,24	0,81	0,42	0,29	21,63	22,45	30,21	13,80
2	0,56	0,33	0,26	0,21	3,48	0,99	0,39	0,30	18,13	24,45	48,03	22,48
4	0,54	0,30	0,24	0,19	2,51	1,07	0,41	0,28	13,91	19,42	41,63	23,44
6	0,54	0,36	0,27	0,20	2,67	1,99	0,39	0,31	18,61	19,71	37,22	33,05
8	0,56	0,32	0,26	0,20	2,23	0,86	0,37	0,30	19,14	25,33	40,46	39,19
10	0,54	0,31	0,25	0,20	6,16	0,80	0,41	0,32	17,21	24,62	34,67	35,08
12	0,53	0,31	0,23	0,20	2,68	1,40	0,43	0,32	19,54	18,78	21,47	42,03
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
CV	16,71	18,11	15,17	9,6	85,11	68,06	26,66	12,5	23,17	23,42	41,95	42,25

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; **significativo $p \text{ valor} < 0,01$; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

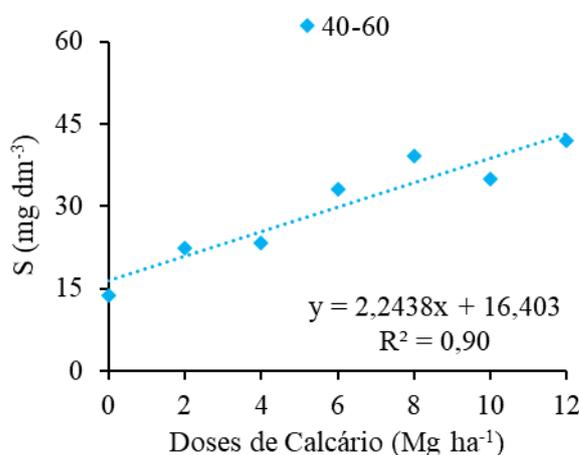


Figura 11. Ajuste de regressão para enxofre, em função das doses de calcário.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 22. Equação do ajuste de regressão utilizada para enxofre, em função de doses de calcário.

Variável	Profundidade	R ²	Equação	p valor (ANOVA)
S	40-60	0,90	$y = 2,2438x + 16,403$	*

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Para os micronutrientes, houve resposta significativa apenas para os teores de cobre na camada de 20 a 40 cm, e ferro nas camadas de 10 a 20 cm e 20 a 40 cm, conforme resultados apresentados nas Tabelas 23, 24 e 25, e Figura 12.

Tabela 23. Teores de cobre e ferro (mg dm^{-3}), 52 meses após aplicação incorporada de calcário, em solo argiloso do município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário Mg ha^{-1}	Cu				Fe			
	mg dm^{-3}							
	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60
0	2,91	2,61	2,74	2,83	30,88	31,48	23,35	22,71
2	2,78	2,93	2,79	3,02	32,24	31,16	19,76	23,49
4	2,89	2,79	3,15	3,04	28,39	29,99	20,08	18,85
6	2,81	2,89	2,96	2,99	23,69	25,31	22,11	18,83
8	2,86	2,87	2,97	3,04	29,22	20,03	23,59	20,01
10	2,89	2,89	2,93	2,89	29,80	22,89	17,21	20,48
12	2,79	2,85	3,09	3,20	26,20	20,52	22,47	18,59
p valor	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns
CV	6,14	7,69	6,29	5,76	17,42	19,8	13,81	15,76

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 24. Teores de boro, manganês e zinco (mg dm^{-3}), quatro anos após aplicação incorporada de calcário, em solo argiloso do município de Paraíso do Tocantins/TO.

Doses de Calcário Mg ha^{-1}	B				Mn				Zn			
	mg dm^{-3}											
	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60
0	0,65	0,61	0,60	0,56	7,58	5,73	2,36	1,74	3,97	3,53	3,39	3,39
2	0,63	0,63	0,63	0,60	9,34	5,86	2,54	1,78	4,24	3,75	3,44	3,42
4	0,61	0,62	0,59	0,58	7,72	6,12	2,45	1,62	3,83	3,65	3,19	3,11
6	0,62	0,61	0,57	0,61	7,07	6,28	2,07	1,49	3,56	3,63	3,26	3,19
8	0,61	0,63	0,60	0,62	8,93	5,66	2,52	1,75	3,76	3,41	3,24	3,54
10	0,62	0,61	0,58	0,62	9,27	6,25	2,61	1,89	4,18	3,43	3,25	3,37
12	0,63	0,63	0,67	0,59	8,44	5,97	2,83	1,93	3,82	3,54	3,28	3,26
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV	5,11	7,24	9,26	8,49	22,97	28,95	21,63	14,11	11,93	9,51	7,57	11,2

ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 25. Equações dos ajustes de regressões utilizadas para cobre e ferro, em função de doses de calcário.

Variável	Profundidade	R ²	Equação	p valor (ANOVA)
Cu	20-40	0,37	$y = 0,0207x + 2,8221$	*
Fe	10-20	0,85	$y = -1,0603x + 32,272$	*

*significativo $0,1 < p \text{ valor} < 0,01$.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

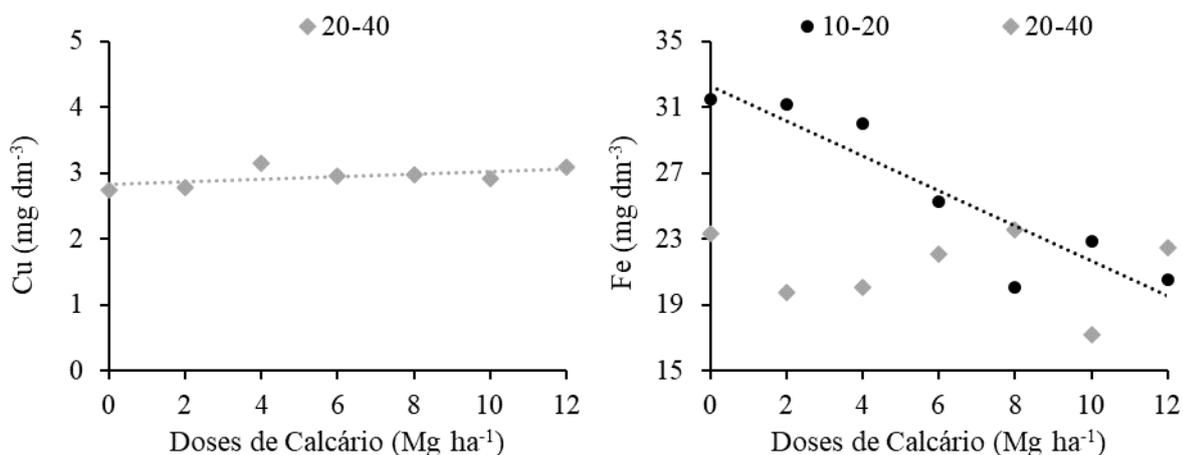


Figura 12. Ajuste de regressão para cobre e ferro, em função das doses de calcário.
Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Para os teores de ferro na camada de 20-40 cm não foi possível ajustar modelo de regressão. Com isso foi realizado análise de contrastes ortogonais (Tabela 26), a fim de se verificar a influência dos tratamentos, sendo que a dose de 8 Mg ha⁻¹ proporcionou maior teor. Além disso, todos os tratamentos proporcionaram teores de micronutrientes altos para a camada de 0 a 20 cm, conforme interpretação de Souza & Lobato (2004). Este fato pode estar relacionado a alta disponibilidade destes elementos no solo da região devido aos teores de matéria orgânica e a origem do material de formação, considerando que no solo onde não foi realizada calagem, os índices desses elementos também são considerados altos.

Tabela 26. Contrastes ortogonais para teor de ferro no solo, na camada de 20-40 cm.

Variável	Contraste	Diferença Estimada (mg dm ⁻³)
		20-40 cm
Fe	0 vs 2, 4, 6, 8, 10, 12	-2,48
	2, 4, 6 vs 8, 10, 12	0,44
	6 vs 8	1,48
	8 vs 12	1,12
	8 vs 10	-6,38**
	2 vs 6	2,35

**significativo p valor < 0,01.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Vários trabalhos na literatura mostram o decréscimo nos teores de micronutrientes com aumento de doses de calcário, principalmente em camadas superficiais (até 20 cm de profundidade), o que não foi observado no presente estudo (SOUZA & SCOLARI, 1986;

FONSECA et al., 2010; MOREIRA et al., 2016; AULER et al., 2019). Moreira et al. (2017) avaliaram o efeito da calagem na disponibilidade de micronutrientes para a soja e verificaram que a mesma reduziu os teores de zinco até 20 cm de profundidade, e de manganês em camadas mais superficiais.

Moreira et al. (2024) ao avaliarem o impacto de doses de calcário incorporadas até 40 cm de profundidade, também constataram maior impacto negativo dos tratamentos para o ferro, assim como, em dois dos três locais avaliados, a calagem não influenciou os teores de boro, cobre e manganês. O zinco também não foi afetado pela calagem em nenhum local, corroborando os resultados encontrados neste trabalho. Moraes (2019) avaliou o efeito de doses de calcário na dinâmica de micronutrientes no solo em 3 locais, e verificou resposta apenas para o ferro. O manganês e zinco não foram afetados pelas doses de calcário ou foram levemente afetados.

A avaliação de nutrientes no solo é dependente do extrator utilizado em cada situação, sendo que para os micronutrientes metálicos, existem laboratórios que utilizam Mehlich-1 e DTPA (ABREU et al., 1997). A fim de se avaliar as diferenças entre estas metodologias para a análise de zinco, cobre e manganês em Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa, Ortiz et al. (2007) concluíram que ambos os extratores (Mehlich-1 e DTPA) são eficientes na análise destes micronutrientes em amostras de solo.

Contudo, Abreu et al. (1997) e Raij et al. (2001) afirmam que, apesar da alta correlação de ambos os extratores, o DTPA possui melhor desempenho em representar os teores de micronutrientes metálicos disponíveis as plantas, principalmente em situações em que houve aplicação de calcário, como também evidenciado em outros trabalhos da literatura (CAMARGO et al., 1982; ROSOLEM et al., 1992; ABREU et al., 1994; ABREU & RAIJ, 1996). Com isso, a baixa influência das doses de calcário nos teores de micronutrientes do solo observada neste trabalho, pode estar relacionado ao extrator Mehlich-1, o qual foi utilizado nestas análises.

4.5. Residual de calcário no solo

Os valores de cálcio e magnésio não-trocáveis encontrados no solo estão dispostos na Tabela 27. As análises estatísticas foram realizadas através de contrastes ortogonais a fim de verificar diferenças entre as doses de calcário, principalmente entre o grupo de maiores doses (8, 10 e 12 Mg ha⁻¹), comparado com o grupo de menores doses (2, 4 e 6 Mg ha⁻¹) (Tabela 28).

Tabela 27. Teores de cálcio e magnésio não-trocáveis em função de doses de calcário, 52 meses após aplicação dos tratamentos, em um Latossolo argiloso.

Doses de Calcário t/ha	Cálcio não-trocável				Magnésio não-trocável			
	mg dm ⁻³							
	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60
2	67,76	42,81	11,32	5,16	22,75	15,44	3,71	0,45
4	31,66	25,59	14,41	3,04	6,48	5,87	4,90	1,96
6	45,17	90,20	7,85	4,20	11,15	32,57	3,63	3,21
8	133,46	211,60	27,72	18,01	45,98	96,34	13,91	8,88
10	120,26	176,55	14,73	12,42	41,31	76,75	8,17	5,95
12	178,20	129,35	15,48	16,93	41,76	49,81	8,66	5,62
p valor	*	**	ns	**	**	**	**	**
CV	57,3	38,5	71,41	33,18	53,87	64,91	54	50,83

*significativo 0,1 < p valor < 0,01; **significativo p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Tabela 28. Contrastes entre doses de calcário (2, 4, 6, 8, 10 e 12 Mg ha⁻¹) para os teores de cálcio e magnésio não-trocáveis no solo, 52 meses após a aplicação dos tratamentos.

Variável	Contraste	Diferença Estimada (mg dm ⁻³)
		0-10 cm
Cálcio não-trocável	2, 4, 6 vs 8, 10, 12	95,78**
Magnésio não-trocável		29,56**
Cálcio não-trocável	8 vs 10, 12	15,77
Magnésio não-trocável		-4,44
Cálcio não-trocável	10 vs 12	57,94
Magnésio não-trocável		0,45
Cálcio não-trocável	6 vs 8	88,29*
Magnésio não-trocável		34,83**
Cálcio não-trocável	2 vs 4, 6	-29,34
Magnésio não-trocável		-13,94
		10-20 cm
Cálcio não-trocável	2, 4, 6 vs 8, 10, 12	119,63**
Magnésio não-trocável		56,34**
Cálcio não-trocável	8 vs 10, 12	-58,65*
Magnésio não-trocável		-33,05*
Cálcio não-trocável	10 vs 12	-47,2
Magnésio não-trocável		-26,94
Cálcio não-trocável	6 vs 8	121,4**
Magnésio não-trocável		63,77**
Cálcio não-trocável	2 vs 4, 6	15,08
Magnésio não-trocável		3,78

Tabela 18. Continuação...

Variável	Contraste	Diferença Estimada (mg dm ⁻³)
		20-40 cm
Cálcio não-trocável	2, 4, 6 vs 8, 10, 12	8,12
Magnésio não-trocável		6,17**
Cálcio não-trocável	8 vs 10, 12	-12,62
Magnésio não-trocável		-5,50*
Cálcio não-trocável	10 vs 12	0,75
Magnésio não-trocável		0,49
Cálcio não-trocável	6 vs 8	19,87
Magnésio não-trocável		10,29**
Cálcio não-trocável	2 vs 4, 6	-0,19
Magnésio não-trocável		0,55
		40-60 cm
Cálcio não-trocável	2, 4, 6 vs 8, 10, 12	11,66**
Magnésio não-trocável		4,94**
Cálcio não-trocável	8 vs 10, 12	-3,34
Magnésio não-trocável		-3,09*
Cálcio não-trocável	10 vs 12	4,51*
Magnésio não-trocável		-0,33
Cálcio não-trocável	6 vs 8	13,81**
Magnésio não-trocável		5,66**
Cálcio não-trocável	2 vs 4, 6	-1,54
Magnésio não-trocável		2,14

*significativo 0,1 < p valor < 0,01; **significativo p valor < 0,01; ns = dados não significativos pelo teste F a 10% de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor, 2024.

Para a camada de 0 a 10 cm, houve diferença entre os tratamentos. As maiores doses aplicadas (8, 10 e 12 Mg ha⁻¹) proporcionaram maiores valores de cálcio e magnésio não-trocáveis no solo, quando comparadas as menores doses (2, 4 e 6 Mg ha⁻¹), indicando a existência de quantidade considerável de carbonatos de cálcio e magnésio oriundos do calcário para reagir. Além disso, é possível observar que entre as maiores doses avaliadas não houve diferença, assim como entre as menores doses, evidenciando o comportamento semelhante entre as doses de cada grupo.

Com relação a camada de 10 a 20 cm, foi observado comportamento semelhante da camada superficial, com diferença entre o grupo de menores doses (abaixo de 6 Mg ha⁻¹) para o de maiores (acima de 8 Mg ha⁻¹), tanto para os teores de cálcio, como de magnésio. Além disso, analisando apenas o grupo de maiores doses, foi observado que a dose de 8 Mg ha⁻¹ apresentou maiores valores de cálcio e magnésio não-trocáveis, indicando maior quantidade de calcário residual.

Os valores de cálcio não-trocável não sofreram influência dos tratamentos para a camada de 20-40 cm. Já para o magnésio, a diferença entre as doses acima de 8 Mg ha⁻¹ e abaixo de 6

Mg ha⁻¹ persistiram. Além disso, foi verificado que a dose de 8 Mg ha⁻¹ proporcionou maiores valores de magnésio não-trocável do que as doses de 10 e 12 Mg ha⁻¹. Para a camada de 40 a 60 cm, as maiores doses proporcionaram maiores valores de cálcio não-trocável do que o grupo de menores doses. Contudo, nesta camada também foi observada diferença para o valor de magnésio não-trocável, sendo maior para a dose de 8 Mg ha⁻¹, quando comparada as doses de 10 e 12 Mg ha⁻¹.

No geral, é possível observar diferença significativa entre os resultados promovidos pelas maiores e menores doses de calcário avaliadas. As maiores quantidades de cálcio e magnésio não-trocáveis, foram encontradas nos tratamentos que receberam as maiores doses de calcário, o que indica a quantidade de calcário remanescente. Esse resultado, aliado com os resultados da análise química de solo, evidenciam o efeito residual, e seus benefícios, que as maiores doses de calcário proporcionam a fertilidade do solo.

A mensuração dos teores de cálcio e magnésio não-trocáveis no solo, a fim de se estimar a quantidade de calcário não reagido, tem sido relatada na literatura com boa eficiência. Soratto & Crusciol (2008) avaliaram a ação de quatro doses de calcário dolomítico em Latossolo Vermelho distroférico, nos teores de cálcio e magnésio não-trocáveis. Os autores constataram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho, onde as maiores doses apresentaram maiores quantidades de cálcio e magnésio não-trocáveis. Além disso, esses autores concluíram que esta metodologia é eficaz em estimar a quantidade de calcário residual no solo, corroborando também com Lima (2004).

5. CONCLUSÕES

1. A calagem não influenciou a produtividade da soja nas 5 safras avaliadas;
2. O aumento das doses de calcário influenciou positivamente a produtividade do milho, na média de 5 safras;
3. O aumento das doses de calcário reduziu as concentrações foliares de micronutrientes na soja e milho, evidenciando seu efeito negativo;
4. Doses de calcário maiores do que as recomendadas pelos métodos oficiais promoveram melhor construção química do perfil de solo, além de maior efeito residual (representado pela quantidade de calcário residual).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados, foram observadas alterações significativas e relevantes para os principais parâmetros referentes a fertilidade do solo (pH, acidez potencial, teores de cálcio, magnésio e saturação de bases), e o impacto positivo em produtividade do milho na média de cinco safras avaliadas, com o aumento da dose de calcário até 12 Mg ha^{-1} . Apesar de este reflexo na produtividade ser relativamente baixo (aproximadamente 60 kg ha^{-1}), o que influencia no retorno econômico desta prática, é importante salientar que esta resposta está associada ao bom regime pluviométrico da região em questão, sendo que, em ano em que a cultura é submetida a estresse hídrico durante período crítico de seu desenvolvimento (como observado para a segunda safra de 2021, com estiagem de chuva próximo ao pendoamento do milho), o impacto das doses de calcário no desenvolvimento e produtividade das culturas é maior, como observado através do incremento linear de produtividade conforme o aumento das doses de calcário, diferente do observado para as safras com boas distribuições de chuvas durante o ciclo da cultura.

Outro fator que deve ser levado em consideração na análise da viabilidade técnica/econômica desta prática, é o efeito residual que as doses de calcário podem proporcionar ao estabelecimento do sistema de produção, em que, considerando os resultados obtidos no presente trabalho referentes a avaliação de calcário não reagido no solo, as maiores doses proporcionaram maior efeito residual em todas as camadas avaliadas.

Com isso, para as condições deste trabalho, é possível afirmar que as maiores doses de calcário influenciaram positivamente no estabelecimento do sistema de produção de grãos (safra e segunda safra) e construção do perfil químico de solo. Vale ressaltar, para o sucesso do uso dessa prática (principalmente para doses acima de 8 Mg ha^{-1}), a atenção para o manejo de micronutrientes via solo (tendo em vista as concentrações foliares obtidas no presente trabalho), sendo importante realizar as correções necessárias.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU C, A. de; NOVAIS, R. F. de; RAIJ, B. van.; RIBEIRO, A. C. Influência da reação do solo na extração de manganês por diferentes extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 91-99, 1994.

ABREU, C. A. de.; LOPES, A. S.; RAIJ, B. van. Análise de micronutrientes em solos brasileiros: situação atual e perspectiva. **Encarte Técnico**, Piracicaba, POTAFÓS, 12 p., 1997.

ABREU, C. A. de; RAIJ, B. van. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 357-363, 1996.

AGUERO, V. M. **Viabilidade econômica da produção de milho e soja influenciada por doses de calcário e gesso**. 2021. 26p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2021.

ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; EGREJA FILHO, F. B.; SANTOS, F. C.; FERREIRA, G. B. Manejo da calagem em solo de textura média da Bahia – Produtividade de soja, alterações no solo e reação do calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2010, Uberlândia, **Resumos...** Uberlândia, MG, 2010.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez do solo: características e interpretações técnicas. **Boletim Técnico 6**. ANDA, São Paulo, 24p. 2005.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 923-934, 2005.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, L. A. **Calagem e estratégias de fertilização em sistemas agropecuários: efeitos na microbiota, disponibilidade de nutrientes e produtividade animal e vegetal**. 2023. 100p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

ALVES, L. A.; AMBROSINI, V. G.; DENARDIN, L. G. O.; FLORES, J. P. M.; MARTINS, A. P.; FILIPPI, D.; BREMM, C.; CARVALHO, P. C. F.; FARIAS, G. D.; CIAMPITTI, I. A.; TIECHER, T. Biological N₂ fixation by soybeans grown with or without liming on acid soils in a no-till integrated crop-livestock system. **Soil & Tillage Research**, v. 209, 2021.

ANTONIADIS, V.; HATZIS, F.; BACHTSEVANIDIS, D.; KOUTROUBAS, S.D. Phosphorus availability in low-P and acidic soils as affected by liming and P addition. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres, v. 46, p. 1288-1298, 2015.

ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARBUJO, F. J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1755-1764, 2009.

AULER, A. C.; CAIRES, E. F.; PIRES, E. F.; GALETTO, S. L.; ROMANIW, J.; CHARNOBAY, A. C. Lime effects in a no-tillage system on Inceptisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdã, v. 15, 2019.

BAKARI, R.; MUNGAI, N.; THUITA, M.; MASSO, C. Impact of soil acidity and liming on soybean (*Glycine max*) nodulation and nitrogen fixation in Kenyan soils. **Soil & Plant Science**, Londres, v. 70, n. 8, p. 667-678. 2020.

BEKERE, W. Liming effects on yield and yield attributes of nitrogen fertilized and Bradyrhizobia inoculated soybean (*Glycine max* L.) grown in acidic soil at Jimma, South Western Ethiopia. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 3, n. 7, p. 139-143, 2013.

BOJÓRQUEZ-QUINTA, E.; ESCALANTE-MAGAÑA, C.; ECHEVARRÍA-MACHADO, I.; MARÍNEZ-ESTÉVEZ, M. Aluminum, a friend or foe of higher plants in acid soils. **Frontiers in Plant Science**. Lausanne, v. 8, p. 1767-1785, 2017.

BOLAN, N. S.; ADRIANO, D. C.; CURTIN, D. Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. **Advances in Agronomy**, Amsterdã, v. 78, p. 215–272. 2003.

BOSSOLANI, J. W. **Reaplicação superficial de calcário e gesso em sistema plantio direto: efeitos no solo e na sucessão de culturas**. 2018. 131 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2018.

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; GARCIA, A.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; RODRIGUES, V. A.; FONSECA, M. C.; CALONEGO, J. C.; CAIRES, E. F.; AMADO, T. J. C.; REIS, A. R. 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**, Lausanne, v. 12, 2021b.

BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEITE, M. F. A.; MERLOTI, L. F.; MORETTI, L. G.; PASCOALOTO, I. M.; KURAMAE, E. E. Modulation of the soil microbiome by long-term Ca-based soil amendments boosts soil organic carbon and physicochemical quality in a tropical no-till crop rotation system. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 156, 2021a.

BOSSOLANI, J. W.; SANTOS, F. L.; MENEGHETTE, H. H. A.; SANCHEZ, I. R.; MORETTI, L. G.; PARRA, L. F.; LAZARINI, E. Soybean in crop rotation with maize and palisade grass intercropping enhances the long-term effects of surface liming in no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 119-130. 2020.

CABRAL, R. C.; DA SILVA, K. C.; STEINER, F. Tolerância de cultivares de soja à toxicidade de alumínio. In: TULLIO, L. **Fronteiras para a Sustentabilidade 2**. Ponta Grossa, Paraná: Athena. p. 105-117. 2019.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1011–1022, 2002.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, p. 213-220, 2000.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 1029-1040, 2001.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; DECHEN, A. R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p. 83-88, 1982.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, 9º levantamento**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/gaos/boletim-da-safra-de-gaos>. Acesso em: 19 jun. 2024.

ENESI, R. O.; DYCK, M.; CHANG, S.; THILAKARATHNA, M. S.; FAN, X.; STRELKOV, S.; GORIM, L. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability – a meta-analysis. **Frontiers in Agronomy**, Lausanne, v. 5, 2023.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.

FAGERIA, N. K.; MORAIS, O. P. Evaluation of rice cultivars for utilization of calcium and magnesium in the Cerrado soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, p. 667-672, 1987.

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

FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till system with a surface application of lime. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 60–70, janeiro/fevereiro 2010.

FONSECA, J. A.; MEURER, E. J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 47–50, 1997.

GONÇALVES, J. R. P.; MOREIRA, A.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOAS, R. L. V. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 369-375, 2011.

HARTEMINK, A. E. & BARROW, N. J. Soil pH – nutrient relationships: the diagram. **Plant and Soil**, Londres, v. 486, p. 209-2015, 2023.

HAYNES, R. J. Effects of liming on phosphate availability in acid soils: A critical review. **Plant and Soil**, Amsterdã, v. 68, p. 289-308, 1982.

KOLLIE, W. S.; SEMU, E. Effects of liming on nodulation, nitrogen fixation and seed protein content in soybean. **East African Journal of Agriculture and Biotechnology**, v. 5 (1). p. 266-276, 2022.

LI, Y.; CUI, S.; CHANG, S. X.; ZHANG, Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p 1393-1406, 2018.

LIMA, E. V. **Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. 2004. 133p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A Survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41 (4), p. 742-747, 1977.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 319.

MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B. Zinco nas folhas de soja em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, v. 47, p. 137-142, 1988.

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A. F.; WUTKE, E. B.; GALLO, P. B. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Nucleus**, Viena, v. 11, n. 1, p. 323-342, abr. 2014.

MICHERI, P.; COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; NETO, J. F.; TANAKA, K. S.; SOUZA, M. Componentes de produção e produtividade de grãos de milho em função da calagem e gessagem superficial. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves, **Resumo...** Bento Gonçalves, RS, 2016.

MIOTTO, A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; DE CONTI, L.; TIECHER, T. L.; MARTINS, A. P.; DOS SANTOS, D. R. Soil acidity and aluminum speciation affected by liming in the conversion of a natural pasture from the Brazilian Campos Biome into no-tillage system for grain production. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Oxford, v. 66, p. 138-151, 2019.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian archives of biology and technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 251-256, 2002.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agrônomicas**, n. 92, p. 1-29, 2000.

MORAES, F. A. **Doses de calcário na construção da fertilidade do perfil do solo**. 2019. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

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**, Amsterdã, v. 144, 2023.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V.; SILVA, B. M.; KIEHL, J. D. C.; SILVA, C. G. M. Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 1, p. 89-97, jan.-mar. 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**, Amsterdã, v. 154, 2024.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; KIEHL, J. C.; PAULETTI, V.; MARTIN-NETO, L. Chemical forms in soil and availability of manganese and zinc to soybean in soil under different tillage systems. **Soil Tillage Research**, Amsterdã, v. 163, p. 41–53. 2016.

MORIZET, J.; TOGOLA, D. Effect et arrière-effet de la sécheresse sur la croissance de plusieurs génotypes de maïs. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE, 1984, Versailles. **Les besoins en eau des cultures**. Paris: INRA, 1984. p.351-360.

OLIVEIRA, D. B.; LACERDA, J. J. J.; CAVALCANTE, A. P.; BEZERRA, K. G.; SILVA, A. P. M.; MIRANDA, A. C. G.; RAMBO, T. P.; MASCHIO, R.; ANDRADE, H. A. F.; COSTA, P. M.; SOUSA, C. A. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. O. L.; SAGRILO, E.; SOUSA, H. A. Lime and gypsum rates effects in new soybean áreas in the Cerrado of Matopiba, Brazil. **Agriculture**, Basel, v. 14, p. 1034-1054, 2024.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of Soil Acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, Amsterdã, v. 38, n. 1, p. 47-57, 1996.

OLIVEIRA, M. P. **Características físicas do solo e produção de soja influenciadas por plantas de coberturas e doses de calcário e gesso**. 2018. 103p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2018.

ORTIZ, F. R.; BRITO, O. R.; BORKERT, C. M. Extratores para a quantificação de zinco, cobre e manganês em solo arenoso. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 95-98, 2007.

PATEL, S. K.; RHOADS, F. M.; HANLON, E. A.; BARNETT, R. D. Potassium and magnesium uptake by wheat and soybean roots as influenced by fertilizer rate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres, v. 24, n. 13-14, p. 1543–1556, 1993.

PAVAN, M. A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 16, p. 86-91, 1994.

QUAGGIO, J. A. & RAIJ, B. V. Manejo da acidez do solo. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. V. (Eds.). **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2022. p 61-112.

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. VAN. Efeitos da aplicação do calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 6, p. 189-194, 1982.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. VAN; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Agronomic efficiency of limestones with different acid-neutralizing capacity, under field condition. In: **SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH**, 3., 1995, Brisbane. Proceeding. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p.491-496, 1995.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Viena, Austria, 2022.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 285 p., 2001.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.6, p. 33-37, 1982.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC & Fundação IAC, p. 285, 1997.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 263-268, 2000.

RITCHEY, K. D.; SILVA, S. E.; COSTA, V. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, Amsterdam, v. 133, p. 378-382, 1982.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Encarte do Informações Agrônomo**, Piracicaba, POTAFÓS, 20 p., 2003.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, M. A.; AMARAL, P. G. do; PEREIRA, H. F. M. Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, p. 277-285, 1992.

ROSOLEM, C. A.; ZANCANARO, L.; BÍSCARO, L. Boro disponível e resposta da soja em Latossolo Vermelho-Amarelo do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2375-2383, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária, 1999. p. 370.

SORATTO, R. P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto**. 2005. 189 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 663-673, 2008.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 5, p. 205-274.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p. ISBN 85-7075-230-4.

SOUZA, D. M. G.; SCOLARI, D. D. G.; Correção da acidez em solos da região dos cerrados. Comunicado Técnico. n. 49. **Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados**, Brasília, ISSN-0100-7033, 1986.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N. E; SOUZA, P. I. M. (eds). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.105-135, 1993.

VERONESE, V. FRANCISCO, E. A. B.; ZANCANARO, L. ROSOLEM, C. A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1158-1165, ago. 2012.