

CORREÇÃO DE SOLOS ARENOSOS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Ed. 07 | SET/2023

Tiragem: 700 exemplares

AUTORES

Rodrigo K. Hammerschmitt

Eng. Agr. Me. Pesquisador em Solos e
Coordenador de Pesquisa do IAGRO-MT.
rodrigo.knevit@iagromt.com.br

Daniela Basso Facco

Eng. Agr. Ma. Pesquisadora em Solos
do IAGRO-MT
daniela.facco@iagromt.com.br

Leandro Zancanaro

Eng. Agr. Me Pesquisador e Consultor na
LZ Pesquisa e Consultoria Ltda/Origens
Parcerias Agrícolas
leandrozancanaro@origens.agr.br

Táimon Semler

Eng. Agr. Pesquisador e Consultor na
Raizes Consultoria.
taimonsemler@raizesconsultoria.com.br

Franklin W. V. de Oliveira

Eng. Agr. Especialista em Proteção de
Plantas. Coordenador de Projetos de
Defesa Agrícola da Aprosoja-MT.
franklin.oliveira@aprosoja.com.br

Gabriel Augusto da Silva

Eng. Agr. Analista de Projetos Defesa
Agrícola da Aprosoja-MT.
gabriel.silva@aprosoja.com.br

Jerusa Rech

Eng. Agr. Dra. Gerente de Defesa Agrícola
da Aprosoja-MT.
jerusa.rech@aprosoja.com.br

Karoline C. Barros

Eng. Agr. Ma. Analista de Projetos Defesa
Agrícola da Aprosoja-MT.
karoline.barros@aprosoja.com.br

CORREÇÃO DO SOLO É A PRÁTICA AGRÍCOLA MAIS IMPORTANTE PARA A AGRICULTURA

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil e uma das principais regiões para a produção de culturas agrícolas. Entretanto, em seu estado natural os solos desta região são bastante intemperizados, naturalmente pobres em nutrientes e com elevado teor de alumínio (Al), apresentando restrições ao desenvolvimento da maioria das culturas. As culturas anuais cultivadas na região do Cerrado, como a soja, o milho e o algodão, apresentam alta suscetibilidade à toxidez por Al^{+3} e requerem disponibilidade adequada de nutrientes no solo, como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), para expressarem o potencial produtivo.

A correção da acidez do solo através da calagem é uma das práticas agrícolas de melhor custo/benefício pois resulta em grande impacto sobre a capacidade do solo produzir abundantemente, ou seja, na fertilidade do solo (Nicolodi et al., 2008). Dentre os corretivos de acidez do solo, o calcário é o produto mais utilizado na agricultura, pois eleva o pH do solo e os teores de Ca e Mg, além de neutralizar o Al tóxico do solo. Inicialmente, as áreas agrícolas no Cerrado eram cultivadas em sistema convencional de preparo do solo com revolvimentos constantes. Na ocasião, corretivos de acidez e fertilizantes eram incorporados ao solo ao longo dos cultivos, dessa forma, houve a construção química do perfil do solo, com correção de acidez na camada arável. Com o advento do sistema plantio direto (SPD), as reaplicações de corretivos de acidez passaram a ser realizadas em superfície, gerando a dúvida sobre a quantidade de calcário necessária para correção do processo de reacidificação e a necessidade de realizar novas reincorporações de calcário no solo.

Esta circular tem por objetivo principal avaliar diferentes estratégias de reaplicação de calcário, associado ao uso de fertilizante fosfatado e condicionador de solo, em solos arenosos com histórico de cultivo e aplicações de corretivos de acidez e fertilizantes. Será abordado a influência das estratégias de manejo sobre a distribuição vertical de nutrientes na fase sólida do solo e a resposta da soja a estas intervenções adotadas em sistemas de semeadura direta já consolidados na região tropical do Cerrado.

ACIDEZ DO SOLO: ORIGEM E EFEITOS

A acidez do solo é o principal limitante da produção agrícola em muitas áreas do mundo (Bortoluzzi et al., 2015). Estima-se que 40% dos solos aráveis do mundo são ácidos e, portanto, apresentam riscos de toxicidade de Al às plantas (Von Uexküll e Mutert, 1995). No Brasil, mais de 500 milhões de hectares são constituídos por solos ácidos, compreendendo cerca de dois terços do território nacional, representando a maior área de solos ácidos dentro de um único país (Vitarello et al., 2005).

A acidificação do solo pode ocorrer por processos naturais e/ou pela atividade humana (processos antropogênicos). Os processos naturais de acidificação do solo são ocasionados pela remoção de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) através da lixiviação, pela absorção de cátions pelas culturas e pelo intemperismo (Ernani, 2016). Estes processos resultam no aumento de formas trocáveis de Al^{3+} e hidrogênio (H^+) no complexo sortivo, favorecendo maior concentração desses íons na solução do solo (Goulding, 2016). Já os processos antropogênicos de acidificação do solo são causados pela deposição de fertilizantes no solo, principalmente os fertilizantes nitrogenados nas formas amoniacais (Goulding, 2016), fertilizantes fosfatados solúveis em água e o enxofre (S) elementar (Ernani, 2016). Além disso, atividades antrópicas como o revolvimento do solo proporcionam a decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) pelos microrganismos do solo que produzem gás carbônico, que por ser um ácido fraco libera íons H^+ (Ernani, 2016; Goulding, 2016).

A acidificação dos solos pode ser representada

pela diminuição do pH do solo, desbalanço na disponibilidade de nutrientes, diminuição da saturação por bases e aumento da saturação por Al (Goulding, 2016). Esses efeitos são os principais fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas e que requerem a correção (aumento) do pH dos solos. A **Figura 1** representa o comportamento da disponibilidade de nutrientes na solução em função do pH. O aumento expressivo do pH pode acarretar deficiências de micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn). Por sua vez, a redução do pH caracteriza aumento da acidez do solo. Quanto mais ácido maior é a atividade do Al na solução do solo, conseqüentemente maior é a saturação por Al, menor é a disponibilidade de Ca, Mg e K, diminuindo a saturação por bases, além de reduzir a disponibilidade de outros nutrientes essenciais às plantas como o P, S, nitrogênio (N) e boro (B). A faixa de pH em água recomendada para a maioria das culturas é entre 6,0 e 6,5.

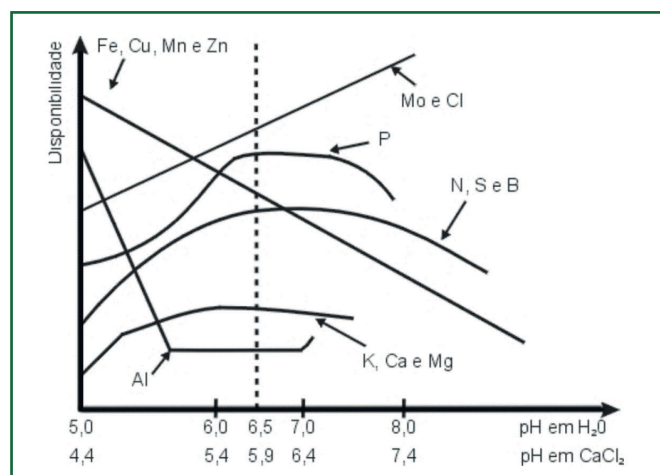


Figura 1. Esquema demonstrativo do comportamento da disponibilidade de nutrientes na solução do solo em função da variação do valor de pH do solo. Fonte: Malavolta, 2006.

CORREÇÃO DA ACIDEZ NATURAL DO SOLO E PROCESSO DE REACIDIFICAÇÃO

A melhoria das propriedades químicas do solo é um desafio para a agricultura tropical. Neste ambiente, a distribuição das chuvas ocorre de maneira irregular, o que requer que o solo não apresente nenhum impedimento ao crescimento radicular e permita exploração de um maior volume de solo pelas raízes, principalmente em subsuperfície, para o adequado desenvolvimento das culturas agrícolas.

A correção do solo através da calagem é uma das práticas de melhor retorno econômico por apresentar grande impacto sobre a fertilidade do solo e, conseqüentemente, sobre a produtividade das culturas. Entretanto, com o advento do SPD faz-se necessário identificar as melhores formas de realizar a correção da acidez do solo e que seus efeitos perdurem pelo maior tempo possível, uma vez que operações de revolvimento do solo não são desejadas na sequência dos cultivos.

Desta forma, na conversão de um bioma natural (Cerrado) para um sistema agrícola são recomendadas práticas de manejo como a correção da acidez do solo e toxicidade do Al^{3+} , aumento dos níveis de P disponíveis, fertilização com K e S e adição de micronutrientes. O revolvimento do solo para incorpo-

ração de calcário e correção da acidez natural do solo é recomendado visando melhorar o perfil do solo e proporcionar um adequado ambiente para o desenvolvimento radicular. Em áreas de abertura para a introdução da atividade agrícola o P é o nutriente mais limitante em solos do Cerrado uma vez que a disponibilidade de P é naturalmente baixa, dessa forma, a incorporação de fertilizantes fosfatados na camada arável do solo é obrigatória. Em solos de Cerrado, sem a correção do P não há produtividade.

Quando o solo está ácido, a correção em profundidade através da incorporação de calcário é recomendada no momento da conversão de um sistema de cultivo convencional para SPD, visando melhorar o ambiente em profundidade. Além disso, em áreas cultivadas em SPD e que apresentam limitações físicas do solo para o crescimento radicular em profundidade, onde há necessidade de realizar o revolvimento do solo, e havendo limitações por acidez, deve-se aproveitar a oportunidade para também fazer a correção química para maior longevidade do sistema plantio direto.

Uma vez corrigida a acidez potencial natural, o processo de reacidação do solo inicia a partir da superfície, uma vez que os principais agentes promotores da acidez são mais intensos na superfície do solo (adição de fertilizantes, chuvas, decomposição da MOS etc.). Dessa forma, as reaplicações de calcário para a correção do processo de reacidação podem e devem ser realizadas em superfície.

A reação do calcário com o solo é relativamente lenta e dependente da acidez do solo e da presença de água. Todas as reações do calcário no solo são limitadas pelo contato das partículas do corretivo com a solução do solo, uma vez que sua solubilidade depende da presença de prótons (H^+) na solução do solo (Kaminski et al., 2007), fato esse que proporciona a correção da acidez apenas no local próximo onde o calcário foi aplicado. A descida física de partículas de calcário no perfil do solo é muito restrita, embora que para Calegari et al. (2013) e Rheinheimer et al. (2000) ela pode ser favorecida pela presença de macrofauna no solo e bioporos criados pelas raízes das plantas, onde a infiltração de água pelos biocanais pode carregar partículas de calcário. Dessa forma, as plantas de cobertura podem facilitar a correção da acidez do solo em camadas subsuperficiais quando o calcário for aplicado em superfície em sistema plantio direto.

USO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ EM SOLOS ARENOSOS COM HISTÓRICO DE CULTIVO E APLICAÇÕES DE CALCÁRIO

Com o advento do SPD nos últimos anos o sistema de revolvimento do solo foi interrompido e as reaplicações de calcário e fertilizantes passaram a ser realizadas na superfície do solo, em sua maioria. Devido ao histórico de cultivo e preparo convencional do solo, com revolvimento constante para incorporação de calcário e fertilizantes, grande parte das áreas agrícolas no Cerrado apresentam o perfil do solo com correção da acidez desde parcialmente até totalmente corrigida. Neste contexto, surge a dúvida se as reaplicações de calcário em superfície são suficientes para corrigir o processo de reacidação do solo, e se há necessidade de reincorporar calcário em áreas de SPD já consolidadas e com acidez em subsuperfície corrigida.

Visando responder a estes questionamentos, no Centro Tecnológico Aprosoja MT (CTECNO), em Campo Novo do Parecis/MT, foi instalado um experimento em solo de textura arenosa (10% de argila) visando avaliar a necessidade de reincorporar calcário em solo com SPD consolidado, bem como identificar se há necessidade de apli-

car altas doses de calcário para corrigir o processo de reacidação do solo. A área onde o experimento foi instalado apresenta histórico de cultivo onde foram realizadas incorporações de calcário e fertilizantes para correção da acidez e dos níveis de nutrientes do solo. A área foi convertida para SPD, onde as aplicações de calcário e fertilizantes passaram a ser realizadas em superfície. Atualmente o experimento é cultivado com soja em sucessão com plantas de cobertura.

Foram realizadas aplicações de 2,0 e 4,0 toneladas de calcário dolomítico por hectare, aplicados em superfície ou incorporado ao solo por meio de grade aradora até profundidade de 20 cm, aproximadamente (**Tabela 1**). A aplicação de calcário foi realizada antecedendo o cultivo de soja na safra 2017/18, onde foram realizadas as incorporações de calcário ou aplicações em superfície nos respectivos tratamentos. Além disso, foi mantido um tratamento sem reaplicação de calcário para avaliar o efeito da ausência de correção do solo, e outro tratamento apenas com revolvimento do solo para avaliar o efeito desse tipo de intervenção.

Tabela 1. Histórico, modo de aplicação e dose de calcário dolomítico aplicado em solo de textura arenosa. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

T	Tratamento	2017/18 ¹		2021/22 ²	
		Dose (t/ha)	Modo de aplicação	Dose (t/ha)	Modo de aplicação
1	Sem revolvimento	-		-	
2	Com revolvimento	-		-	
3	Superficial	2,0	Superficial	2,0	Superficial
4	Superficial	4,0	Superficial	4,0	Superficial
5	Incorporado a cada 8 anos	2,0	Incorporado ³	2,0	Superficial
6	Incorporado a cada 8 anos	4,0	Incorporado ³	4,0	Superficial
7	Incorporação inicial e reaplicação em superfície	2,0	Incorporado ³	2,0	Superficial
8	Incorporação inicial e reaplicação em superfície	4,0	Incorporado ³	4,0	Superficial

¹Calcário dolomítico: CaO = 28,7%, MgO = 19,5% e PRNT = 98,3%. ²Calcário dolomítico: CaO = 31,7%, MgO = 15,8% e PRNT = 94,9%. ³Incorporação realizada com duas passadas de grade aradora de 28" a aproximadamente 20 cm.

Após quatro safras do início do experimento e da aplicação de calcário, antecedendo o cultivo da soja na safra 2021/22, uma nova reaplicação de calcário dolomítico foi realizada em superfície para todos os tratamentos que receberam calcário inicialmente, nas mesmas doses (**Tabela 1**). Na ocasião, nenhum tratamento foi revolvido. O experimento tem cinco anos de duração, e como os tratamentos 5 e 7 e os tratamentos 6 e 8 foram submetidos aos mesmos manejos de solo até o momento, será apresentado a média dos resultados destes tratamentos.

A análise de solo antes da aplicação dos tratamentos está descrita na **Tabela 2**. Vale destacar que, por ser uma área com histórico de cultivo e

revolvimento do solo, não havia limitação química de acidez em profundidade. De acordo com níveis dos atributos químicos do solo estabelecidos no manual "Cerrado: Correção do solo e adubação" de Sousa e Lobato (2004), o pH do solo está dentro do nível considerado adequado (entre 5,6 e 6,3), não há Al restritivo ao crescimento radicular, e a saturação por bases está em níveis considerados adequados (maior que 36%). O teor de P disponível está alto (maior que 25 mg/dm³) até 20 cm de profundidade. O nível de Mg estava baixo (menor que 0,5 cmol_c/dm³) devido ao histórico de aplicação de calcário calcítico na área antes da implantação do experimento.

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, antes da aplicação dos tratamentos no experimento. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2017/2018.

Prof. (cm)	pH água	P	K	S	Ca	Mg	Al	H	CTC	m	V	MOS
		-----	mg/dm ³ -----		-----	cmol _c /dm ³ -----				%	%	g/dm ³
0-10	5,9	63	26	12	2,6	0,5	0,0	2,5	5,7	0,0	57	20
10-20	5,5	41	17	12	1,3	0,4	0,0	2,9	4,6	0,0	37	14
20-40	5,5	3,5	20	12	0,9	0,3	0,0	2,2	3,5	0,0	35	10

pH determinado em água (1:2,5); P e K extraídos por Mehlich-1; S extraído por fosfato de cálcio; Ca, Mg e Al extraídos por cloreto de potássio (1 mol/L); H extraído por acetato de cálcio a pH 7,0; MOS extraído por dicromato de potássio.

EFEITO DE DOSES DE CALCÁRIO E MODOS DE APLICAÇÃO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Após quatro anos da aplicação dos tratamentos e antecedendo a reaplicação de calcário na safra 2021/22, foi realizada uma coleta de solo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade para avaliar as alterações químicas no solo provocadas pela aplicação dos tratamentos. Na **Figura 2** estão expressos os resultados dos atributos da acidez do solo: pH do solo, saturação por bases, teor de Al e saturação por Al na CTC efetiva. Como esperado, a aplicação de calcário, independente da dose e modo de aplicação, promoveu aumento nos valores de pH e saturação por bases e redução do teor de Al e saturação por Al quando comparado aos tratamentos que não receberam a aplicação de calcário.

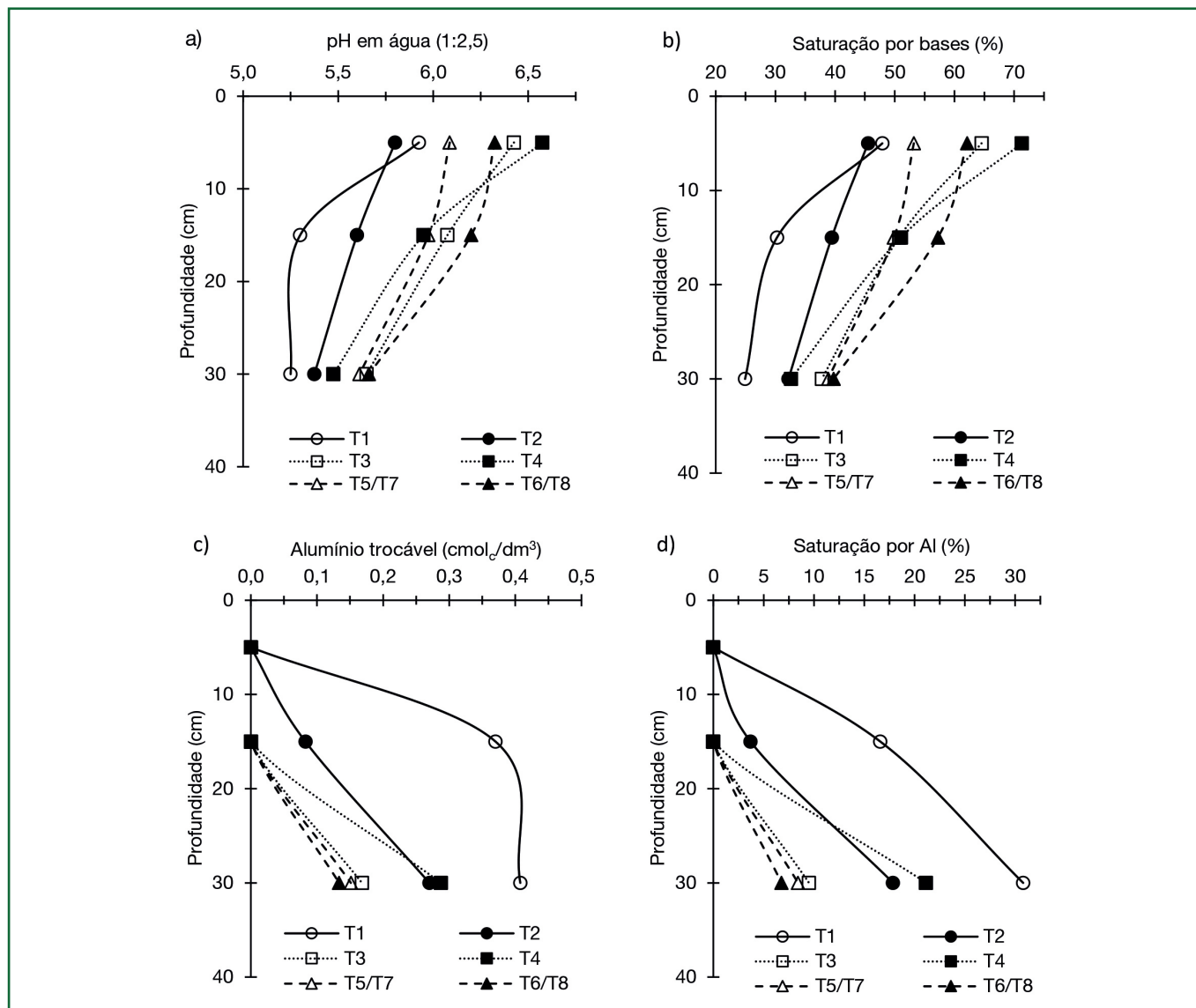


Figura 2. Valores de pH do solo (a), saturação por bases (b), teor de alumínio trocável (c) e saturação por alumínio na CTC efetiva (d) do solo das camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade em função de modos de aplicação e doses de calcário em solo de textura arenosa. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2021/22.

Na ausência de aplicação de corretivo da acidez do solo (T1 e T2), foram observados menores valores de pH e saturação por bases quando comparado aos tratamentos com aplicação de calcário (**Figura 2a e 2b**). A aplicação de calcário dolomítico em superfície (T3 e T4) promoveu o aumento do pH do solo e da saturação por bases de forma mais acentuada na camada superficial do solo, decrescendo abruptamente com o aumento da profundidade. Isso ocorre, pois, há uma concentração da dose de calcário na camada superficial. Em contrapartida, com a incorporação há uma maior distribuição das partículas de calcário na camada arável do solo em função do revolvimento, elevando o pH e a saturação por bases em camadas mais profundas (T5/7 e T6/8). Quanto maior a dose de calcário aplicada, maior a intensidade do efeito da aplicação sobre os atributos químicos do solo. Quando ocorre o revolvimento do solo, com a incorporação dos fertilizantes aplicados e do corretivo da acidez, há aumento da saturação por bases no perfil do solo. Entretanto, neste estudo observamos níveis considerados adequados de saturação por bases (maiores que 36% - Sousa e Lobato, 2004) até 20 cm de profundidade, independente do modo de aplicação e da dose de calcário aplicado, devido a condição do solo no início do experimento.

O teor de Al trocável e, conseqüentemente, a saturação por Al do solo continuaram neutralizados até 20 cm de profundidade independente da dose e da forma de aplicação do calcário (**Figuras 2c e 2d**). Vale destacar que o solo da área onde o experimento foi instalado, embora estivesse sendo cultivado sob SPD com aplicações de calcário e fertilizantes em superfície, apresenta histórico de incorporação de calcário e fertilizantes ao solo. Dessa forma, houve correção prévia da acidez no perfil do solo, prática recomendada para o bom estabelecimento do sistema plantio direto. Neste contexto a aplicação de

calcário em superfície foi capaz de corrigir o processo de reacidificação, que inicia a partir da superfície do solo. A correção da acidez do solo prévia à instalação deste experimento e os resultados obtidos até o momento demonstram o efeito residual de aplicações de calcário ao longo do tempo.

O efeito residual do calcário aplicado no solo pode ser observado comparando os tratamentos T1 e T2. O T1 não recebeu corretivo da acidez, sendo cultivado sob SPD, enquanto o T2 também não recebeu corretivo da acidez do solo, mas foi submetido à revolvimento do solo. Foi observado que o T2 apresentou aumento do pH, e por consequência da saturação por bases, redução no teor de Al trocável e saturação por Al no perfil do solo quando comparado ao T1. Esse comportamento é resultado da presença de calcário residual na superfície do solo, que quando submetido a incorporação é exposto a maior contato com o solo em uma condição de acidez maior, permitindo a continuidade da reação de dissolução das partículas, consequentemente, justificando a melhora dos atributos da acidez no perfil do solo em profundidade. Este fato tem importância prática enorme e deve ser considerado na tomada de decisão sobre a definição da dose de calcário a ser utilizada se houver necessidade de “romper” o sistema plantio direto. Em lavouras comerciais, com histórico de aplicação de calcário superficial, há muitas partículas de calcário na superfície do solo que ainda não reagiram e que quando incorporadas ao solo tem a dissolução permitida, o que pode ocasionar aumento exagerado do pH do solo, ainda mais se quantidades maiores de calcário forem aplicadas por razão da operação de revolvimento do solo.

Além do poder corretivo da acidez do solo e neutralização do Al, o calcário dolomítico é fonte de Ca e Mg para as culturas. De forma semelhante ao observado para os atributos da acidez do solo, a aplicação de calcário em superfície promoveu um gradiente de disponibilidade de Ca e Mg no solo, concentrando nutrientes em camadas mais superficiais e diminuindo abruptamente com a profundidade do solo, enquanto a incorporação do calcário promoveu aumento do teor de Ca e Mg de forma mais homogênea no perfil do solo (**Figura 3**). Além disso, quando maior a dose de calcário aplicada, maiores foram os teores de Ca e Mg no solo.

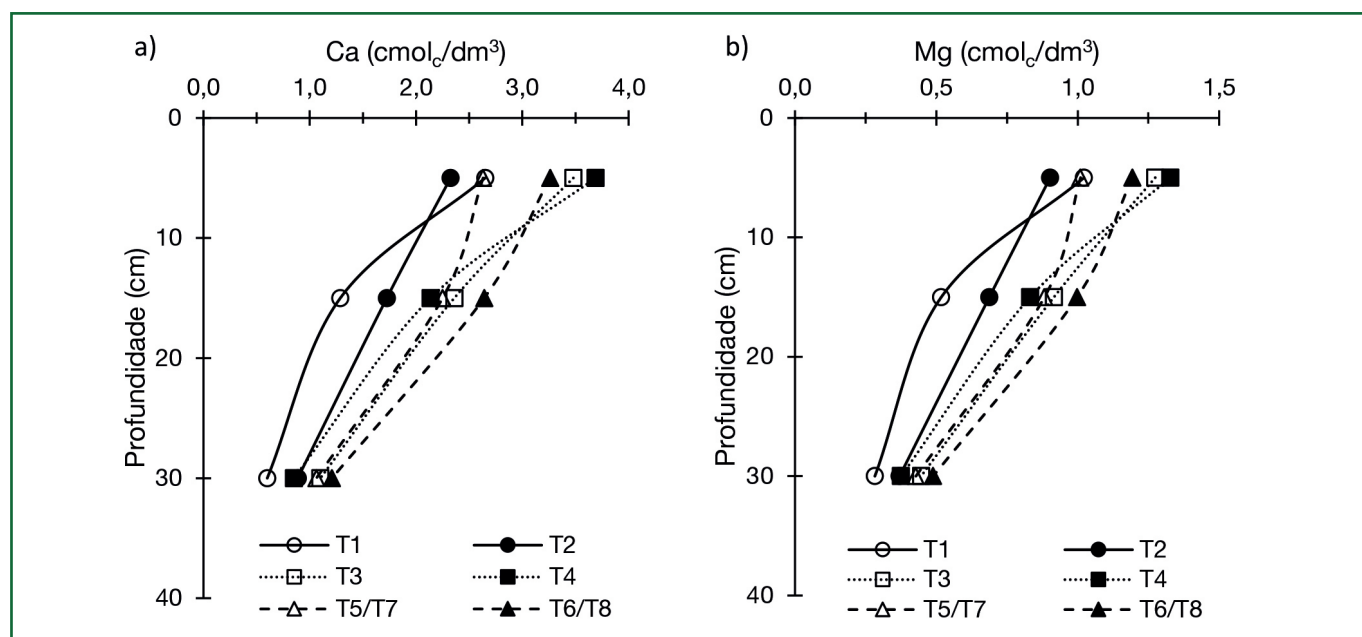


Figura 3. Teores de cálcio (a) e magnésio (b) do solo das camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade em função de modos de aplicação e doses de calcário em solo de textura arenosa. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2021/22.

A recomendação de calagem em solos arenosos visando apenas a relação Ca:Mg do solo pode resultar em alguns problemas que estão sendo observados com maior frequência ao longo dos anos. Em situações em que o teor de Mg do solo está abaixo ou um pouco acima do nível crítico e a calagem é realizada com calcário calcítico, há chance de que ocorram limitações de produtividade por deficiência de Mg, principalmente em pontos de menor disponibilidade do nutriente. O problema pode ser agravado quando adicionado ao solo altas doses de K ou também pela elevação do Ca na solução do solo pela própria aplicação de calcário calcítico, ou pela aplicação de gesso agrícola, devido às interações entre esses nutrientes.

CUIDADOS NA INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE DE SOLO PARA RECOMENDAÇÃO DE CALCÁRIO

Um aspecto importante a ser considerado no momento de interpretar a análise de solo é a qualidade do laboratório de rotina escolhido. Quando observado os resultados do teor disponível de Ca e Mg na **Figura 3**, verifica-se o mesmo comportamento na disponibilidade de ambos os nutrientes em função dos tratamentos, apenas com variação numérica dos teores. Esses resultados indicam que o laboratório onde a análise foi realizada pode ter estimado o teor de um dos nutrientes em função do outro. Esses resultados são preocupantes, principalmente em áreas com histórico de aplicação de calcário calcítico e de gesso agrícola, onde pode haver a superestimação dos teores de Mg no solo, mas na prática, pode haver a deficiência desse nutriente.

Esses resultados podem ser observados de forma mais clara na **Figura 4**, onde foi realizada a correlação entre os resultados do teor de Ca e Mg disponível de um solo submetido à aplicação de doses de gesso agrícola. Observa-se um ajuste linear do comportamento de um elemento em relação ao outro, com R^2 de 0,99, indicando alta correlação entre os elementos avaliados. Entretanto, sabe-se que a nível prático esse comportamento no solo não é simétrico.

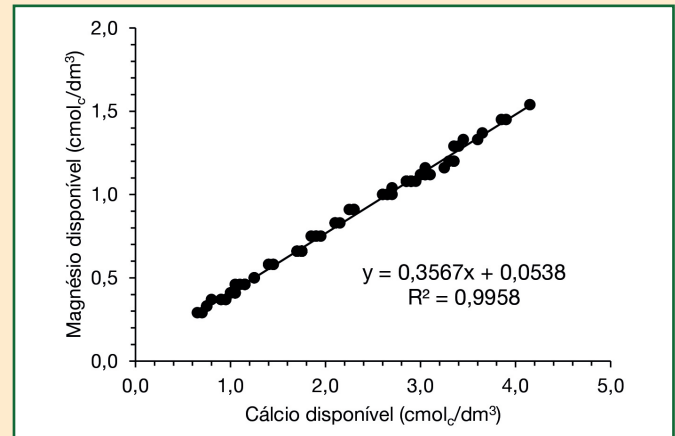


Figura 4. Correlação entre teor de cálcio e magnésio em solo de textura média com aplicações de doses de gesso agrícola. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2017/18.

Para exemplificar de forma mais prática, os resultados dessa análise de solo das camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm estão apresentados na **Figura 5**. Os resultados da análise de solo em questão são de um solo onde foi realizada a aplicação de até 15 t/ha de gesso agrícola em superfície, sem outra fonte de Mg. O gesso agrícola é fonte de Ca e S para as culturas, mas não apresenta Mg na sua composição. É observado o aumento do teor de Ca do solo, conforme aumenta a dose de gesso aplicado, como já era esperado. No entanto, também foi observado aumento do teor de Mg, proporcional ao aumento do teor de Ca, mesmo não havendo aplicação de nenhuma fonte de Mg no solo.

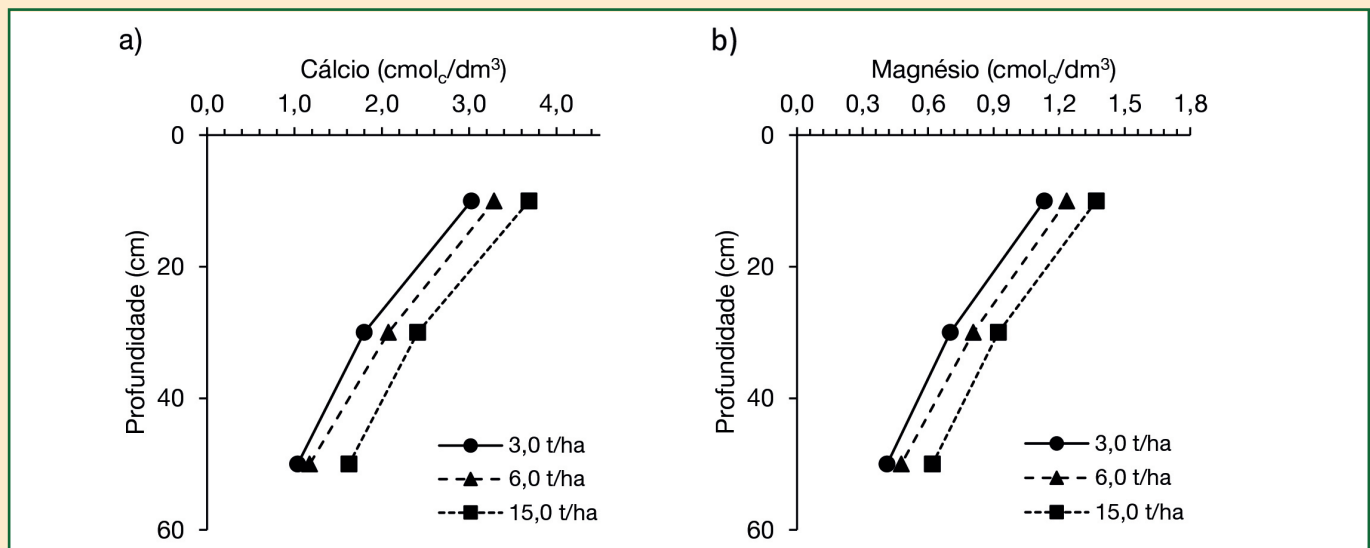


Figura 5. Teores de cálcio (a) e magnésio (b) do solo das camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade em função da aplicação de doses de gesso agrícola em solo de textura média. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2017/18.

Mesmo tendo sido observados teores adequados de Mg no solo da camada 0-20 cm (maiores que 1,0 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) foram observados sintomas de deficiência de Mg na cultura da soja e do milho cultivados após a aplicação do gesso

agrícola (**Figura 6**). Esses resultados deixam claro que houve uma superestimação dos teores de Mg, podendo levar a interpretações erradas das análises de solo, e consequentemente, resultando em recomendações equivocadas de calagem

e adubação, com potencial prejuízos à produtividade das culturas. Dessa forma, é fundamental realizar uma avaliação crítica dos resultados

de análise de solo, associando os resultados do laudo ao histórico de aplicação de corretivos da acidez e fertilizantes da área.



Figura 6. Sintomas visuais de deficiência de magnésio na soja e milho cultivados após aplicação de 15 t/ha de gesso agrícola. CTECNO/ Campo Novo do Parecis-MT, safra 2017/18.

Ajustes nos laudos de análise de solo como este já foram percebidos por profissionais em lavouras comerciais, onde as análises de solo acusam historicamente valores elevados de Mg, mesmo o produtor utilizando a vários anos o calcário calcítico. Nessas áreas, com o tempo, surgiram sintomas visuais de deficiência de Mg na

soja cultivada por vários anos em sucessão com o algodão na segunda safra. Ao mudar de laboratório foi constatado que os teores de Mg no solo da área em questão estavam baixos, coerente com o histórico de aplicações de calcário, e com a quantidade residual de K no solo devido ao sistema soja/algodão segunda safra.

EFEITO DE DOSES DE CALCÁRIO E MODOS DE APLICAÇÃO SOBRE A PRODUTIVIDADE DA SOJA

A produtividade da soja cultivada sob as doses e modos de aplicação do calcário dolomítico estão apresentadas na **Figura 7**. Mesmo havendo respostas da dose e modo de aplicação de calcário sobre os atributos químicos do solo, o mesmo efeito não foi observado sobre a produtividade da soja. Das quatro primeiras safras avaliadas (2017/18, 2018/19, 2019/20 e 2020/21) foi observada diferença estatística apenas na segunda safra (2018/19) após a aplicação do calcário. Nesta safra foram observados que os tratamentos que foram revolvidos, independente da aplicação de calcário (T2, T5/7 e T6/8), apresentaram menores produtividades. Na safra 2021/22, após nova reaplicação de calcário em superfície, também não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos.

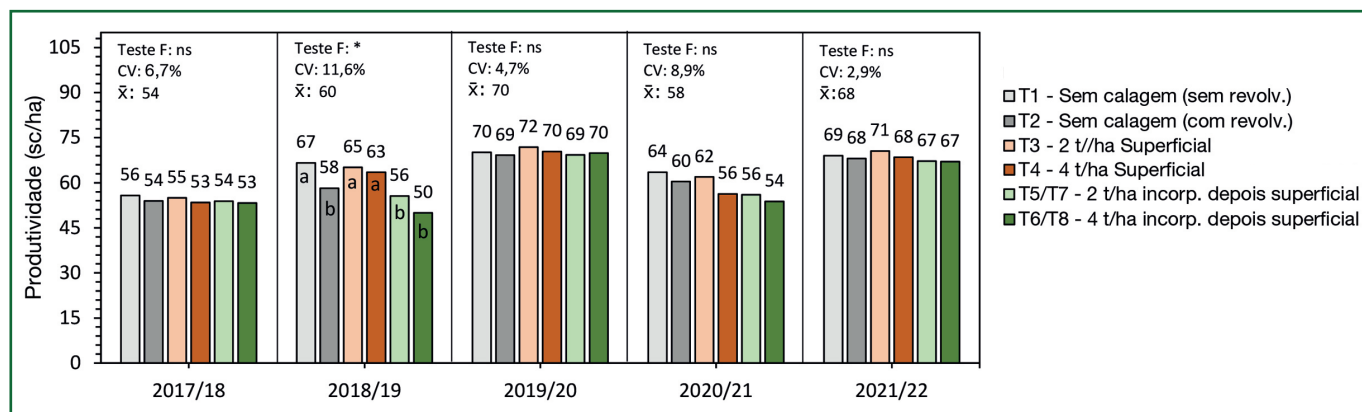


Figura 7. Produtividade da soja cultivada sob doses e modos de aplicação de calcário em solo de textura arenosa em cinco safras. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 10% de probabilidade. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

É importante considerar a reação das cultivares de soja utilizadas no experimento quanto ao nematoide de cisto da soja. A escolha de cultivares de soja têm impacto direto sobre os resultados apresentados pois há incidência de nematoide de cisto associado a variações quanto ao revolvimento do solo e histórico de calagem. As cultivares de soja utilizadas em cada safra, bem como a reação aos principais nematoides estão apresentadas na **Tabela 3**. É possível observar que na safra 2018/19, onde foi observado diferença estatística na produtividade da soja em função dos tratamentos, a cultivar utilizada apresentava suscetibilidade aos nematoides de cisto da soja e galhas. Os efeitos dos manejos adotados sobre a população de nematoides será apresentado no capítulo “Efeito de doses de calcário e modos de aplicação sobre a população de nematoides”.

Tabela 3. Cultivares de soja utilizadas em cada ano safra de condução do experimento e reação aos nematoides de cistos (*Heterodera glycines*) e de galhas (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*).

Ano	Cultivar	Resistências a nematoides		
		<i>H. glycines</i>	<i>M. incognita</i>	<i>M. javanica</i>
2017/2018	M 8372 IPRO	R (1 e 3) MR (6 e 10)	S	S
2018/2019	TMG 2185 IPRO	R (3)	S	S
2019/2020	TMG 2381 IPRO	R (1, 3, 4, 5, 6, 9, 10 e 14)	S	S
2020/2021	HO Cristalino IPRO	S	S	MS
2021/2022	TMG 2381 IPRO	R (1, 3, 4, 5, 6, 9, 10 e 14)	S	S

R= resistente; MR= moderadamente resistente; MS= moderadamente suscetível; S= suscetível.

Outro ponto importante a destacar é a ausência de resposta em produtividade da soja em função da ausência de aplicação de corretivo da acidez. Como já destacado anteriormente, o solo onde o experimento foi cultivado não apresentava necessidade de aplicação de calcário para correção da acidez do solo. Apenas o Mg apresentava-se como elemento com potencial limitação de produtividade. Entretanto, foram realizadas adubações com fertilizantes que apresentavam Mg na sua composição (**Tabela 4**), e conseqüentemente, não houve limitação de produtividade por deficiência desse nutriente. Vale destacar que o calcário dolomítico é a principal fonte de Mg às culturas. Dessa forma, a aplicação de calcário que não apresenta Mg em sua composição pode prejudicar a nutrição das culturas.

Tabela 4. Quantidade anual de fertilizantes aplicados na cultura da soja nos cinco anos de condução do experimento. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

Ano agrícola	Fertilizantes (kg/ha)						
	SFT ¹	MAP ¹	KCl ²	S elementar ²	K-Mag ²	Produbor ²	Coppergran ²
2017/18	400	-	200	-	-	7,5	7,5
2018/19	300	-	100	-	250	8,0	-
2019/20	300	-	180	-	-	5,0	-
2020/21	309	-	150	-	162	7,0	7,0
2021/22	-	108	180	50	-	5,0	-

¹Aplicado na linha de semeadura; ²Aplicado a lanço em superfície. SFS = superfosfato simples; MAP = monoamônio fosfato; KCl = cloreto de potássio; K-Mag = fertilizante formulado (21% de K₂O, 21% de S e 10% de Mg).

Vale considerar que o experimento é cultivado com soja na safra e plantas de cobertura na safrinha, onde a aplicação de fertilizantes é realizada apenas na soja. Há baixa frequência de aplicação de fertilizantes contendo S elementar e não são realizadas aplicações de fertilizantes nitrogenados nas culturas de cobertura. Este sistema de produção é menos intensivo e há poucas fontes de reacidificação do solo. Dessa forma, a reaplicação de calcário em baixas doses e em superfície é capaz de controlar o processo de reacidificação do solo. Esse fato pode ser confirmado observando os resultados das análises de solo apresentados na **Figura 2**, onde após, no mínimo, quatro anos sem aplicação de corretivos da acidez, os valores de pH em água, saturação por bases e saturação por Al ainda se encontram dentro dos níveis considerados adequados até 20 cm de profundidade, conforme Sousa e Lobato (2004). Mesmo havendo o processo de reacidificação do solo, após pelo menos quatro anos sem aplicação de corretivo da acidez, não há prejuízos à produtividade da soja, demonstrando que as aplicações de calcário devem

ser realizadas com a finalidade de redução dos teores de Al trocável (quando estiver presente no solo), fornecer Ca e Mg às culturas, e controlar o processo de reacidificação do solo.

Considerando a produtividade média e a produção acumulada das cinco safras em função da aplicação dos tratamentos fica claro que não há resposta positiva da incorporação e da aplicação de altas doses de calcário, mesmo que em superfície, em solos arenosos sem limitação química de acidez no perfil do solo (**Figura 8**). Dessa forma, os resultados deixam claro que aplicações de baixas doses de calcário e em superfície são capazes de fornecer nutrientes, corrigir o processo de reacidificação e manter as produtividades satisfatórias.

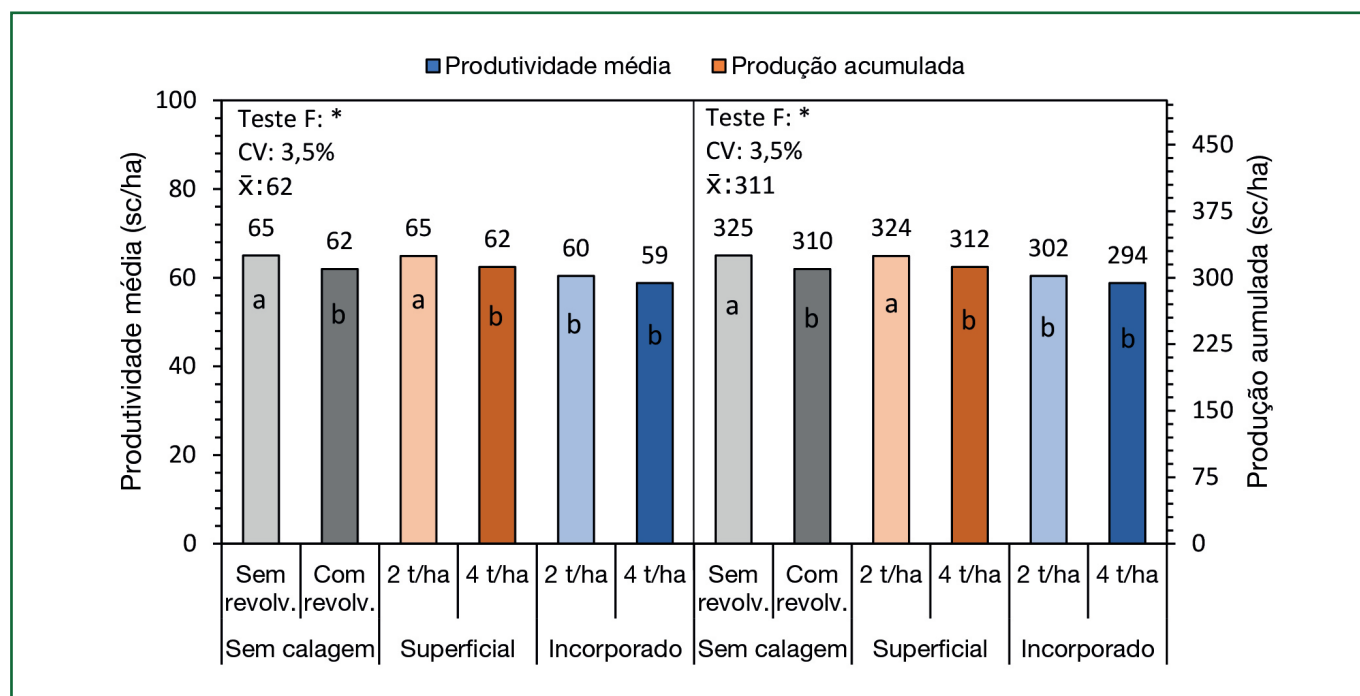


Figura 8. Produtividade média e produção acumulada da soja nas cinco safras de condução do experimento em função da aplicação de doses e modos de aplicação de calcário em solo de textura arenosa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 10% de probabilidade. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

Os resultados obtidos até o momento demonstram que na condição de ter SPD de qualidade ao longo do tempo, com níveis altos de P, não há ganhos de produtividade com elevação dos níveis de correção do solo quanto a acidez além daquele obtido no tratamento 1, onde não foi realizada aplicação de calcário. Porém, estes resultados são válidos para estas condições e estão coerentes com os resultados obtidos por Nicolodi et al. (2008). A continuidade de projetos como este são fundamentais pois permitirão, ao longo do tempo, identificar qual condição de acidez de solo irá prejudicar a produtividade da soja e das culturas de cobertura. Estes resultados quando associados com todos os trabalhos conduzidos no CTECNO de Campo Novo do Parecis/MT, irão permitir concluir quais são os fatores, e a ordem destes fatores, que mais afetam a produtividade. Com isso, será possível definir onde concentrar os investimentos para conseguir conciliar produtividade, rentabilidade, estabilidade produtiva e menor dependência de insumos específicos para áreas com restrições, muitas vezes potencializadas por práticas agrícolas desnecessárias.

EFEITO DE DOSES DE CALCÁRIO E MODOS DE APLICAÇÃO SOBRE A POPULAÇÃO DE NEMATÓIDES

Como já relatado anteriormente, foram observados efeitos negativos do revolvimento do solo sobre a produtividade da soja na safra 2018/19. Esse

fato foi potencializado devido a cultivar de soja com suscetibilidade a nematoides de cisto. Cultivares suscetíveis vão apresentar pior desempenho

quanto maior for a população de nematoides de cisto. Na safra 2021/22 foram coletadas amostras de solo da camada 0-10 cm e raízes de soja da cultivar TMG 2381 IPRO para avaliação da população

de nematoides presentes na área em função dos tratamentos. Foi observado maior população de *Heterodera glycines* (nematóide de cisto) nos tratamentos que foram revolvidos (**Figura 9**).

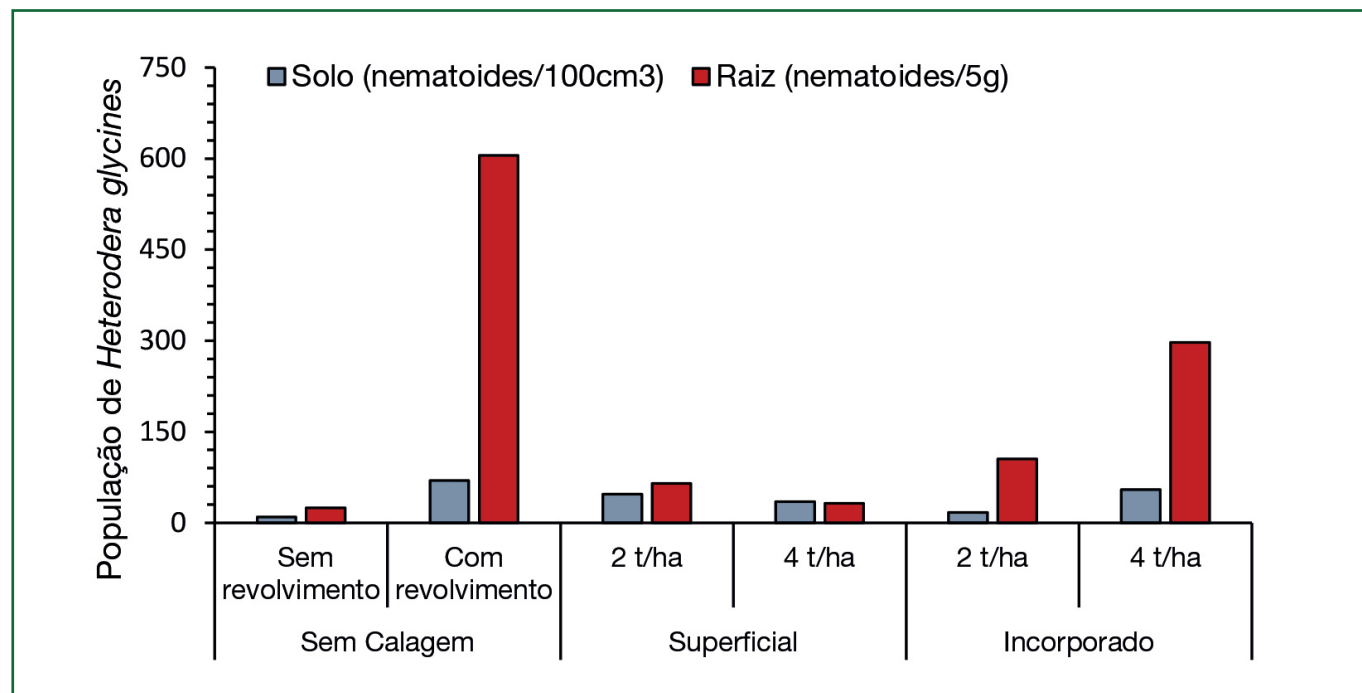


Figura 9. População de *Heterodera glycines* (nematóide de cisto) no solo da camada 0-10 cm e na raiz de soja coletada no estágio R2 (pleno florescimento) em função de modos de aplicação e doses de calcário em solo de textura arenosa. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2021/22.

O revolvimento do solo favorece a multiplicação de nematóide de cisto, uma vez que ocorre a degradação da MOS, com efeitos diretos sobre a população de fungos que atacam os cistos. Dessa forma, com o revolvimento do solo houve redução dos fungos, que associado a cultivar de soja suscetível teve efeito negativo sobre a produtividade. Dessa forma, esses resultados deixam claro o impacto do revolvimento de solos arenosos com presença de nematoides, principalmente onde não há necessidade real de revolvimento do solo. Entretanto, vale destacar que o uso contínuo de cultivares resistentes à nematóide de cistos leva a pressão de seleção e novas raças podem ser selecionadas.

O revolvimento do solo também favorece a dispersão da população de nematoides nas áreas agrícolas, além de favorecer a degradação da matéria orgânica do solo. A MOS está diretamente relacionada às condições físicas, químicas e biológicas do solo. Quanto maiores os teores de MOS melhor é a condição para as plantas se desenvolverem e maior tolerância a nematoides, por exemplo.

Nas safras 2019/2020 e 2021/2022 a cultivar

utilizada foi a TMG 2381 IPRO, que apresenta ampla resistência à diferentes raças de nematóide de cisto, e não foram observadas diferenças estatísticas em produtividade da soja em função dos tratamentos, mesmo tendo sido observado diferenças na população do nematóide na safra 2021/22. Estes resultados demonstram que na safra 2018/2019 as diferenças observadas estavam diretamente relacionadas a dinâmica da população de nematóide de cisto e não às condições de acidez do solo em superfície e em subsuperfície. Quando o dano devido a população de nematóide de cisto da soja foi eliminado ou amenizado pelo uso de cultivares resistentes ao nematóide, os tratamentos que receberam aplicação de maiores doses de calcário e/ou revolvimento do solo, não apresentaram produtividades maiores que o tratamento onde sistema de produção foi mantido sem revolvimento e sem aplicação de calcário, sendo a condição de acidez do solo não limitante a produtividade.

A falta de diferença estatística na safra 2020/2021, quarta safra do projeto, com a utilização de cultivares sensíveis a nematóide de cisto da soja, mesmo tendo diferença de até 10

sacos de soja por hectare entre o tratamento 1 (sem revolvimento e sem aplicação de calcário) e o tratamento 6/8 (incorporação de 4,0 toneladas de calcário por hectare) pode ser questionado por profissionais da área técnica. Este fato está relacionado a variabilidade observada nas parcelas a campo. Nos tratamentos com maior população de nematoides de cisto da soja, e com cultivares de soja suscetíveis, as parcelas apresentavam maior variabilidade e menor uniformidade no crescimento da soja e no potencial produtivo. Enquanto os tratamentos sem revolvimento e sem calcário (tratamento 1) e o tratamento sem revolvimento e com a menor dose de calcário aplicado em superfície (T2) apresentaram maior uniformidade. Quanto maior a dose de calcário utilizada, e ainda mais, com revolvimento inicial, menor a uniformidade. Toda esta variabilidade resulta em maior coeficiente de variação, e menor chance de obter diferença estatística. Porém, na safra 2018/2019 houve diferença estatística entre tratamentos, sendo a diferença entre os tratamentos de maior produtividade (T1) e o tratamento de menor produtividade (T6/8) de 17 sacos de soja por hectare (**Figura 7**).

Estes resultados também demonstram que

o conhecimento do ambiente de produção associado ao posicionamento adequado de cultivares de soja é uma ferramenta de extrema importância visando reduzir os riscos de produção. Entretanto, vale destacar que o uso contínuo de cultivares com resistência às mesmas raças de cistos pode promover a seleção de outras raças, sendo importante rotacionar, também, as resistências de raças.

Mesmo após quatro anos da intervenção no solo, e após adoção da semeadura direta com grande aporte de palhada pelas plantas de cobertura (em torno de 6 t/ha/ano), ainda são observadas diferenças na população de nematoides de cisto em função dos tratamentos. Esse resultado demonstra como as intervenções realizadas no solo tem impacto sobre vários aspectos e como os efeitos são de longo prazo. Dessa forma, toda tomada de decisão, principalmente sobre a adoção de manejos mais intensivos, como incorporação e aplicação de altas doses de calcário ou alta frequência de aplicação, mesmo que em superfície, devem ser tomadas com cautela, considerando a aptidão da área, histórico de cultivo, presença de nematoides, necessidade de correção do solo, entre outros aspectos.

USO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ, FERTILIZANTES FOSFATADOS E GESSO AGRÍCOLA PARA CORREÇÃO DE SOLOS ARENOSOS COM HISTÓRICO DE CULTIVO

O P é o elemento mais limitante nos solos do Cerrado, e por consequência, o mais responsivo em áreas de abertura ou áreas com teor disponível baixo desse nutriente. Dessa forma, a correção dos solos com P, ou seja, a aplicação de fertilizantes visando elevar os teores disponíveis de P no solo, é prática obrigatória em solos deficientes. A correção do P em solos arenosos normalmente é realizada associada a um revolvimento do solo, visando incorporar o fertilizante fosfatado, e elevar o teor do nutriente no perfil do solo.

O gesso agrícola também é utilizado como condicionador do solo visando melhorar as condições químicas em profundidade. O gesso agrícola, embora não seja um corretivo da acidez do solo, é utilizado para reduzir a atividade do Al^{3+} , minimizar problemas de acidez e aumentar os teores de Ca em profundidade (Zandoná et al., 2015). O gesso agrícola é aplicado em superfície no solo, e por apresentar alta mobilidade, acaba deslocando S e Ca em profundidade, consequentemente, melhorando o ambiente para crescimento radicular.

Com o objetivo de promover a correção e melhoria do perfil do solo quanto à condição química, foi implantado um experimento no CTECNO – Parecis, em solo de textura arenosa (10% de argila) com histórico de cultivo e aplicação de corretivos da acidez e fertilizantes fosfatados. Para isto, foi feito a aplicação combinada de calcário, gesso e fósforo. Os tratamentos foram definidos visando contemplar diferentes níveis de correção do solo, seja por aplicações superficiais ou incorporada de calcário, com ou sem gesso agrícola, com ou sem incorporação de fósforo em profundidade. Para isso, foram instalados 10 tratamentos descritos na **Tabela 5**.

Tabela 5. Descrição dos tratamentos envolvendo níveis de correção do solo com aplicações superficiais de calcário e gesso agrícola e incorporação de calcário e fertilizante fosfatado. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

T	Descrição dos tratamentos	Critério para calagem ¹	Critério para correção de fósforo	Critério para gessagem ²
1	Sem Calagem	-	-	-
2	Calagem superficial	V= 70% / 2 = 1000 kg/ha	-	-
3	Calagem superficial + gesso	V= 70% / 2 = 1000 kg/ha	-	DR = 750 kg/ha
4	Calagem superficial + super gessagem	V= 70% / 2 = 1000 kg/ha	-	DR x 4 = 3000 kg/ha
5	Super calagem superficial	V=70% x 2 = 4000 kg/ha	-	-
6	Apenas revolvimento profundo do solo ³	-	-	-
7	Correção da acidez, alumínio e fósforo em profundidade ³	V= 70% x 2 = 4000 kg/ha	1500 kg/ha de SFT	DR x 2 = 1500 kg/ha
8	Correção da acidez e alumínio profundidade ³	V= 70% x 2 = 4000 kg/ha	-	DR x 2 = 1500 kg/ha
9	Correção da acidez em profundidade ³	V= 70% x 2 = 4000 kg/ha	-	-
10	Correção intermediária da acidez e do fósforo do solo ⁴	V= 70% x 1 = 2000 kg/ha	750 kg/ha de SFT	DR = 750 kg/ha

¹A necessidade de calcário foi calculada por $NC = (V_{desejado} - V_{atual} / 100) \times CTC_{pH7,0} \times 2$. ²Dose recomendada (DR)= teor de argila (%) x 75. O gesso foi aplicado na superfície do solo em todos os tratamentos, sem incorporação. ³Aração a 30 cm de profundidade, seguido de gradagem pesada a 20 cm de profundidade e por fim grade niveladora. ⁴Dois passadas de grade 28" seguido de grade niveladora. Legenda: V= saturação por bases; SFT = superfosfato triplo; T = tratamento.

A área onde o experimento foi instalado apresentava histórico de cultivo com incorporações de calcário e fertilizantes para correção da acidez e dos níveis de nutrientes do solo nos primeiros anos de introdução da agricultura. Com o tempo a área foi convertida para SPD, onde as aplicações de calcário e fertilizantes passaram a ser realizadas em superfície.

Após a implantação do experimento em discussão, a área foi cultivada com soja em sucessão com plantas de cobertura por cinco safras. A aplicação dos tratamentos foi realizada antecedendo o cultivo de soja na safra 2017/18. Além disso, foi mantido um tratamento sem aplicação de calcário, gesso agrícola e fertilizantes fosfatado e sem revolvimento do solo para avaliar o efeito da ausência de correção do solo, e outro tratamento apenas com revolvimento do solo para avaliar o efeito desse tipo de intervenção.

A análise de solo antes da aplicação dos tratamentos está descrita na **Tabela 6**. Vale destacar que, por ser uma área com histórico de cultivo e revolvimento do solo, não havia limitação química de acidez em profundidade. De acordo com níveis dos atributos químicos do solo estabelecidos no manual "Cerrado: Correção do solo e adubação" de Sousa e Lobato (2004), não há Al restritivo ao crescimento radicular e a saturação por bases está em níveis considerados adequados (maior que 36%). O teor de P disponível está alto (maior que 25 mg/dm³) até 20 cm de profundidade.

Tabela 6. Características químicas do solo da área experimental nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, antes da aplicação dos tratamentos. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2017/2018.

Prof. (cm)	pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H	CTC	m	V	MOS
	CaCl ₂	-----	mg/dm ³ -----		-----	-----	cmol _c /dm ³ -----			%	%	g/dm ³
0-10	5,5	55	59	6,3	2,9	1,1	0,0	2,8	7,0	0	59	29
10-20	5,2	40	28	7,3	2,1	0,8	0,0	3,0	6,0	0	50	24
20-40	4,9	14	16	8,2	1,2	0,5	0,0	2,2	3,9	0	43	11
40-60	4,5	3,2	12	11	0,6	0,3	0,4	1,8	2,7	0,4	27	7

pH determinado em água (1:2,5); P e K extraídos por Mehlich-1; S extraído por fosfato de cálcio; Ca, Mg e Al extraídos por cloreto de potássio (1 mol/L); H extraído por acetato de cálcio a pH 7,0; MOS extraído por dicromato de potássio.

EFEITO DO USO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ, FERTILIZANTES FOSFATADOS E GESSO AGRÍCOLA SOBRE A CONDIÇÃO QUÍMICA DO SOLO

Após quatro anos da aplicação dos tratamentos foi realizado uma coleta de solo nas camadas 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade para avaliação da condição química no perfil do solo (**Figura 10**). Como já comentado anteriormente, os valores de pH e saturação por bases apresentaram comportamento semelhante, uma vez que estão associados. Neste experimento, a

aplicação de calcário em superfície também promoveu maiores valores de pH e saturação por bases no solo da camada superficial (T2, T3, T4 e T5 - linhas em azul). Os maiores valores de pH e saturação por bases observados na camada superficial do solo foi no tratamento com aplicação de 4,0 t/ha de calcário devido a aplicação localizada de alta dose do corretivo da acidez.

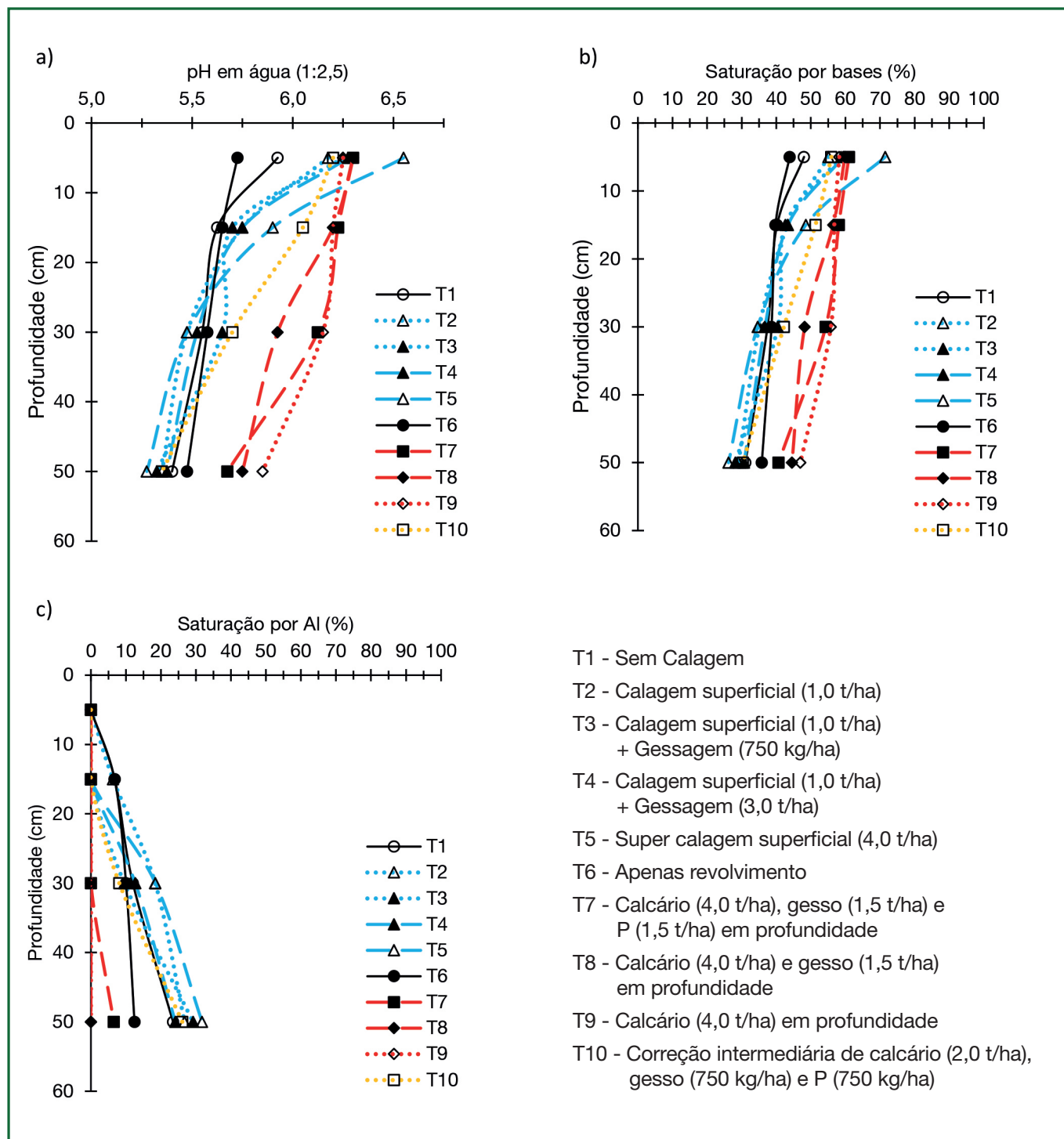


Figura 10. Valores de pH do solo (a), saturação por bases (b) e saturação por alumínio (c) do solo das camadas 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade após quatro anos da aplicação dos tratamentos. CTCNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2021/22

Como comentado anteriormente, a incorporação de 4,0 t/ha de calcário também promoveu maiores valores de pH e saturação por bases no perfil do solo (T7, T8 e T9 – linhas em vermelho). No T10 (linha amarela) também foi realizada a incorporação de calcário ao solo, entretanto com aplicação de 2,0 t/ha e com menor intensidade de revolvimento, consequentemente, camadas mais profundas não foram atingidas e os valores de pH e saturação por bases foram menores quando comparados aos tratamentos com incorporação de 4,0 t/ha. Além disso, o revolvimento do solo promoveu a neutralização do Al até 40 cm de profundidade nos tratamentos T7, T8 e T9 onde foi realizado o revolvimento do solo, enquanto os tratamentos que receberam a aplicação de calcário em superfície, a neutralização do Al ocorreu até 20 cm de profundidade.

O revolvimento do solo causa a incorporação e homogeneização da MOS nas camadas de solo, favorecendo sua degradação. Nesse sentido, foi

verificado redução nos teores de MOS nos tratamentos que receberam revolvimento do solo com maior intensidade (tratamentos T6, T7, T8 e T9 – linhas em vermelho), especialmente nas camadas mais superficiais do solo, como pode ser observado na **Figura 11a**. Em contrapartida, os maiores teores de MOS foram observados nos tratamentos que foram mantidos sob plantio direto (tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 – linhas em azul), sem revolvimento. A capacidade de troca de cátions (CTC) do solo apresentou comportamento semelhante a MOS uma que vez que estes atributos do solo estão relacionados (**Figura 11b**). Solos tropicais, altamente intemperizados e com baixo teor de argila, apresentam naturalmente baixa capacidade de retenção de cátions e são altamente dependentes das cargas variáveis derivadas dos grupos funcionais da MOS (Dias et al., 2019). O revolvimento do solo promoveu menores conteúdos de MOS e, consequentemente, menor CTC, podendo favorecer as perdas de nutrientes.

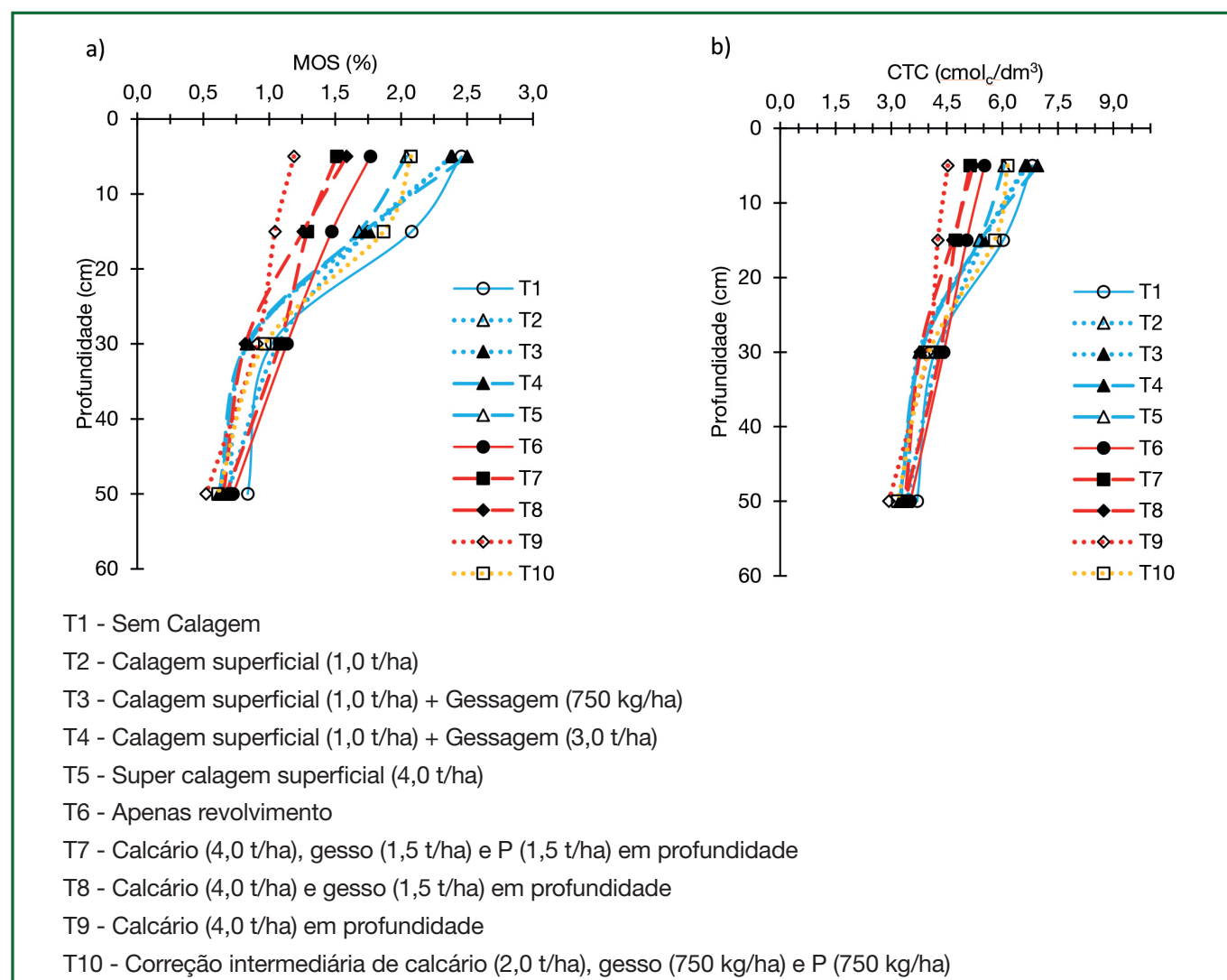


Figura 11. Conteúdo de matéria orgânica (a) e valores de capacidade de troca de cátions (b) do solo das camadas 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade após quatro anos da aplicação dos tratamentos. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2021/22.

Foram realizadas a incorporação de P nos tratamentos T7 (750 kg/ha) e T10 (1.500 kg/ha) visando promover o aumento do teor disponível desse nutriente no perfil do solo. A incorporação de P foi realizado visando avaliar o efeito desse manejo sobre a produtividade da soja, uma vez que o P é o nutriente mais limitante em solos do Cerrado. Mesmo tendo alto teor de P no solo, a incorporação do fertilizante fosfatado promoveu o aumento do teor disponível deste elemento no solo, como pode ser observado na

Figura 12 (linhas azuis). Em contrapartida, nos tratamentos onde não foi realizada a aplicação de fertilizante fosfatado corretivo com o objetivo de elevar os teores disponíveis no solo, mas houve o revolvimento do solo para incorporação de calcário (T6, T8 e T9 - linhas vermelhas), foi observado redução no teor de P disponível no perfil do solo quando comparado aos tratamentos onde não foi realizado a aplicação de fertilizante fosfatado e não houve o revolvimento do solo (T1, T2, T3, T4 e T5 - linhas pretas).

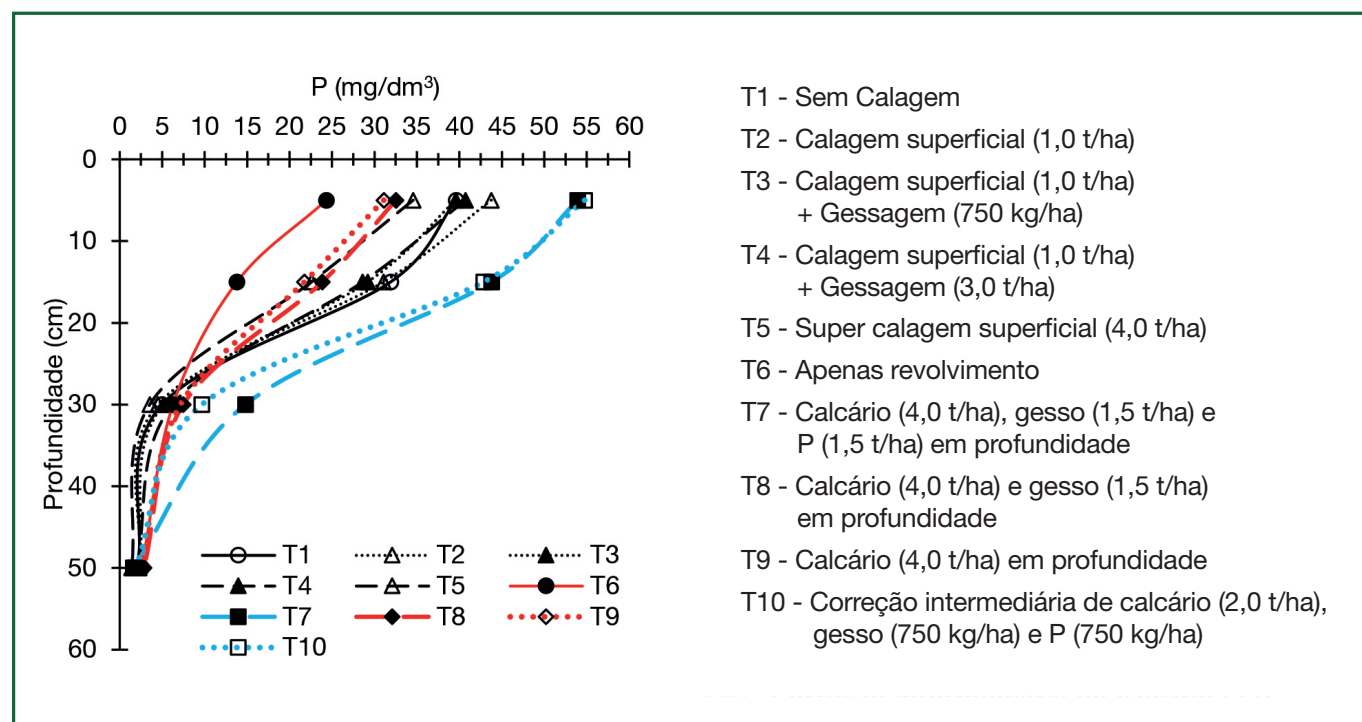


Figura 12. Teor de fósforo disponível no solo das camadas 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade após quatro anos da aplicação dos tratamentos. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT, safra 2021/22.

O P é fortemente adsorvido aos oxi-hidróxidos de Fe/Al presentes no solo (Kruse et al., 2015), minerais argilosos e substâncias húmicas (Weihrauch e Opp, 2018). O revolvimento do solo expõe o P aplicado via fertilizantes aos grupos funcionais do solo capazes de adsorver P, consequentemente reduzindo o conteúdo de P disponível (Tiecher et al., 2012). Dessa forma, além de haver redução nos teores de MOS

e, consequentemente, da CTC do solo, com aumento do potencial de perda de cátions do solo, o revolvimento promoveu a adsorção de P, reduzindo sua disponibilidade no solo, mesmo em solo arenoso, que para muitos não seria esperado. Este resultado será muito mais intenso quanto mais argiloso e quanto mais ácido for o solo em profundidade.

EFEITO DO USO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ, FERTILIZANTES FOSFATADOS E GESSO AGRÍCOLA SOBRE A PRODUTIVIDADE DA SOJA

Mesmo havendo alterações na condição química do solo em função dos tratamentos envolvendo a aplicação de calcário, gesso e fertilizante fosfatado ao solo, em diferentes doses, interações e modos de aplicação, pouco efeito foi observado sobre a produtividade da soja. Das cinco

safras avaliadas (2017/18, 2018/19, 2019/20, 2020/21 e 2021/22) após a aplicação dos tratamentos foram observadas diferenças estatísticas apenas na segunda safra (2018/19) após a instalação do experimento (**Figura 13**). Nesta safra foram observados que os tratamentos que apresentaram maior intensidade de revolvimento, com aração até 30 cm de profundidade, seguido de gradagem pesada a 20 cm de profundidade e por fim grade niveladora, independente dos insumos aplicados (T7, T8 e T9), apresentaram menores produtividades. Novamente os resultados indicam que há efeito da presença de nematoides de cisto da soja, pois na safra 2018/19 foi utilizada a cultivar TMG 2185 IPRO, que apresenta suscetibilidade a estes nematoides. Inclusive, nesta safra foram observadas visualmente reboleiras e presença de cistos nas raízes da soja.

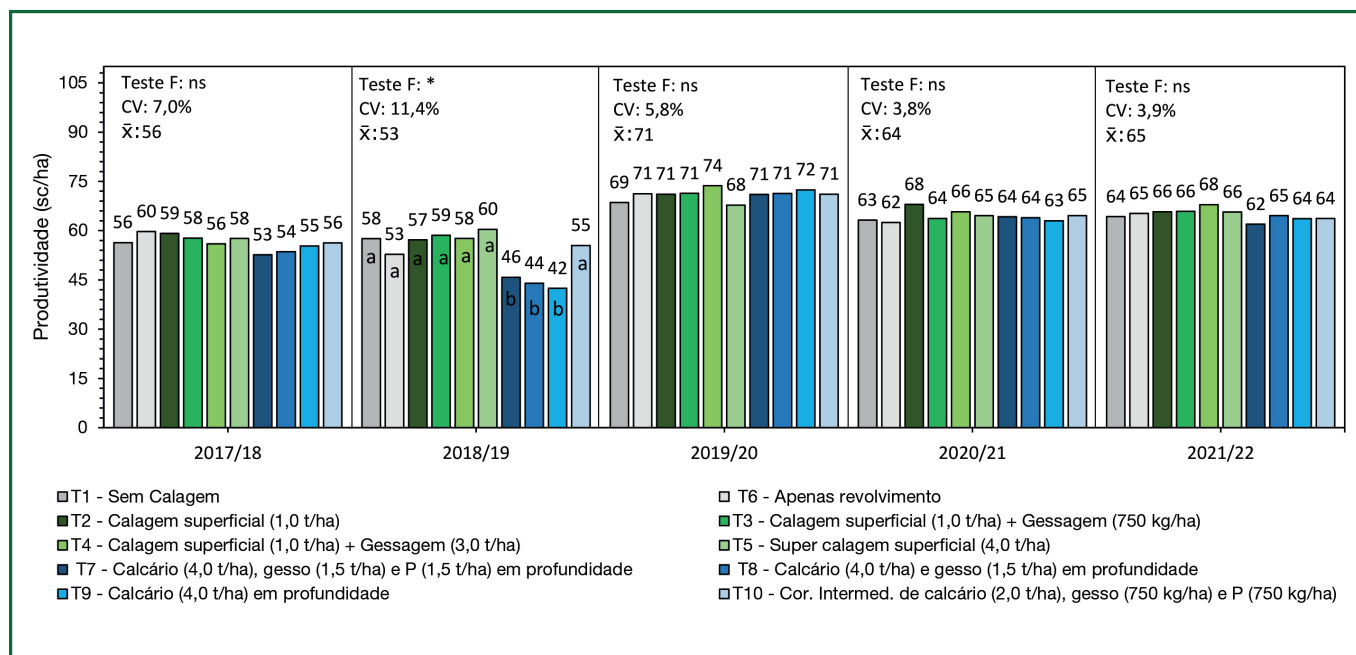


Figura 13. Produtividade da soja cultivada sob diferentes estratégias de correção do solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 10% de probabilidade. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

A adição combinada de calcário e gesso pode reduzir a disponibilidade do Al e suas formas tóxicas, além de melhorar os atributos químicos no perfil do solo. O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), embora não apresente poder corretivo da acidez, favorece a transferência de Ca e sulfato (SO_4^{2-}) para as camadas subsuperficiais, devido à sua maior solubilidade em solução, mas principalmente pela presença do ânion SO_4^{2-} , que não tem poder de reagir com a acidez ativa do solo, possibilitando que o SO_4^{2-} forme pares iônicos juntamente com o Ca, permitindo a descida até as camadas mais ácidas, com presença elevadas de Al trocável. Ao final de todo este processo, o gesso agrícola permite redução da atividade do Al presente na solução e aumento do Ca em profundidade, e com isto, melhora a condição para o crescimento das raízes em profundidade, e consequentemente, aumento da absorção de água e nutrientes. Por estes motivos, não há necessidade de incorporação de gesso agrícola para proporcionar efeitos em profundidade em curto período, ao contrário do calcário. Dessa forma, a aplicação de gesso agrícola é uma alternativa para melhoria do solo em profundidade e, consequentemente, do ambiente para o crescimento das raízes de plantas.

Neste estudo não foram observados benefícios sobre a produtividade da soja em função da aplicação de gesso agrícola ao solo. Este resultado ocorreu, pois, como a área onde o experimento foi instalado apresentava histórico de cultivo, onde foram realizadas incorporações de corretivos da acidez e fertilizantes, o perfil do solo não apresentava limitação química. Dessa forma, os possíveis benefícios da aplicação de gesso agrícola ao solo podem ter sido minimizados devido a condição do solo.

Considerando a produtividade média dos tratamentos e a produção acumulada, observa-se

que o revolvimento do solo afetou negativamente a produtividade da soja, como já destacado anteriormente (**Figura 14**). As aplicações de calcário em superfície foram suficientes para promover a correção do processo de reacidificação do solo e fornecer nutrientes para as culturas, e as aplicações de fertilizante fosfatado e gesso agrícola com a finalidade de melhorar o perfil do solo não apresentaram efeitos positivos uma vez que o perfil do solo já estava corrigido quimicamente.

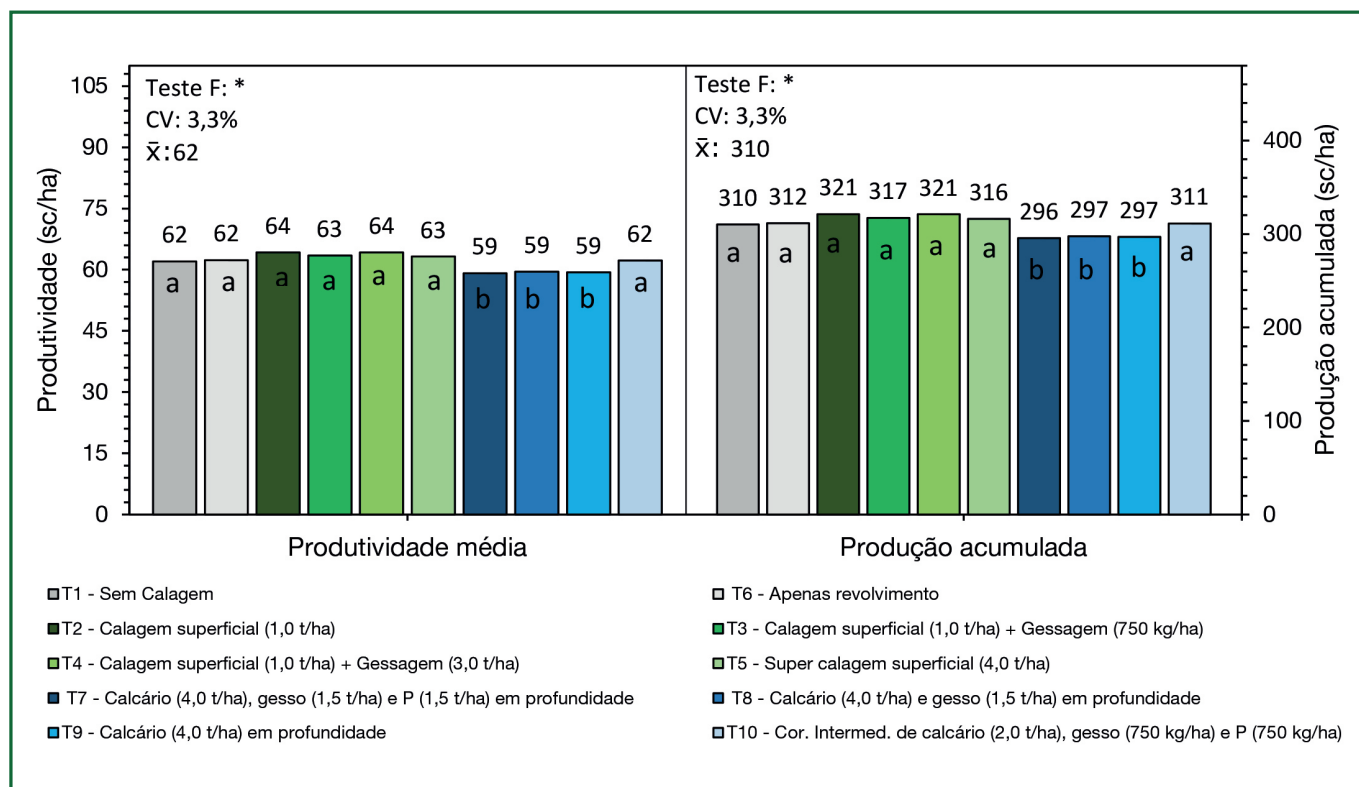


Figura 14. Produtividade média e produção acumulada da soja em cinco safras e cultivada sob diferentes estratégias de correção do solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 10% de probabilidade. CTECNO/Campo Novo do Parecis-MT.

Dessa forma, esses resultados deixam claro que em solos sem limitação química não há necessidade de adotar medidas de manejo extremas, como correção excessiva da acidez do solo e aplicação de fósforo em profundidade. Corrigir é necessário, mas não em excesso. A busca de altas produtividades de forma pontual também pode resultar em perda de foco em práticas fundamentais, como por exemplo, a implantação e a continuidade ao longo do tempo de bons sistemas de plantio direto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prática de calagem deve ser utilizada nos sistemas produtivos como estratégia para obter efeitos benéficos a longo prazo. Em condições de baixa limitação química do solo (baixa acidez e alta disponibilidade de nutrientes) a aplicação de calcário em baixas doses e em superfície é a estratégia mais adequada. É importante, neste cenário, destacar que a utilização de corretivos da acidez não deve ser menosprezada, pois, embora não tragam efeitos significativos sobre a produtividade das culturas em um curto espaço de tempo, pode evitar futuras perdas de produtividade, e impedir que no futuro o sistema plantio direto seja interrompido. Dessa forma, a calagem na dose certa, faz toda a diferença.

Estes trabalhos apresentados e discutidos demonstram que a aplicação de calcário em superfície é para situações em que não há limitação por acidez do solo, ou seja, para solos com correções prévias quanto a acidez, com elevados níveis de fósforo, e principalmente para bons

sistemas plantio direto, adotado ao longo dos anos, e assim evitar a necessidade futura de revolvimento do solo. Neste cenário é possível afirmar que a estratégia de aplicação de calcário em superfície como “manutenção da condição do solo quanto a acidez” é muito mais para preservar o sistema plantio direto, e principalmente as melhores condições químicas, físicas e biológicas, que estão diretamente relacionadas a dinâmica da matéria orgânica do solo.

O revolvimento do solo promove redução da matéria orgânica e aumento da população de nematoides de cistos em áreas com histórico de incidência, com efeitos negativos sobre a produtividade das culturas. Além disso, a aplicação de calcário ao solo sem critério, sem conhecimento das condições químicas do solo e em altas doses, além de promover o aumento da população de nematoides de cisto, pode provocar a redução da disponibilidade de micronutrientes, principalmente Cu, Zn e Mn, com efeitos negativos sobre o desenvolvimento e potencial produtivo das culturas.

REFERÊNCIAS

Bortoluzzi EC, Pérez CAS, Ardisson JD, Tiecher T, Caner L. Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. *Applied Clay Science*, v. 104, p. 196–204, 2015.

Calegari A, Tiecher T, Hargrove WL, Ralisch R, Tessier D, de Tourdonnet S, Guimarães M de F, dos Santos DR. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Research*, v. 133, p. 32–39, 2013.

Dias FPM, Hübner R, Nunes F de J, Leandro WM, Xavier FA da S. Effects of land-use change on chemical attributes of a Ferralsol in Brazilian Cerrado. *CATENA*, v. 177, p. 180–188, 2019.

Ernani PR. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2o ed. Lages; 2016.

Goulding KWT. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, v. 32, p. 390–399, 2016.

Kaminski J, Silva LS, Ceretta CA, Santos DR. Acidez e calagem em solos do Sul do Brasil: aspectos históricos e perspectivas futuras. *Tópicos em Ciência do Solo*. 5o ed. 2007.

Kruse, J. et al. Innovative methods in soil phosphorus research: A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 178, n. 1, p. 43–88, 2015.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.

Nicolodi M, Gianello C, Anghinoni I, Marré J, Mielniczuk J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2735-2744. 2008.

Rheinheimer DS, Santos EJS, Kaminski J, Bortoluzzi EC. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2000.

Sousa DMG., Lobato E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2o ed. Brasília, DF; 2004.

Tiecher T, Santos DR dos, Kaminski J, Calegari A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.

36, p. 271–282. 2012.

Vitorello VA, Capaldi FR, Stefanuto VA. Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 17, p. 129–143, 2005.

Von Uexküll HR, Mutert E. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant and Soil*, v. 171, p. 1–15, 1995.

Zandoná RR, Beutler AN, Burg GM, Barreto CF, Schmidt MR. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, p. 128–137, 2015.

Weihrauch, C.; Opp, C. Ecologically relevant phosphorus pools in soils and their dynamics: The story so far. *Geoderma*, v. 325, p. 183–194, 2018.



INSTITUTO
MATO-GROSSENSE
DO AGRONEGÓCIO



Associação dos Produtores de
Soja e Milho do Estado de Mato Grosso

Rua Engenheiro Edgard Prado Arze, nº1.777
Edifício Cloves Vettorato, CPA
CEP 78.049-932 Cuiabá-MT

EDIÇÃO 07

Setembro 2023

DIRETORIA – GESTÃO 2021/2023

PRESIDENTE

Fernando Cadore

VICE-PRESIDENTE

Lucas Luis Costa Beber

COORDENADOR DA COMISSÃO DE DEFESA AGRÍCOLA

Fernando Ferri

VICE-COORDENADOR DA COMISSÃO DE DEFESA AGRÍCOLA

Jorge Diego Oliveira Santos Giacomelli

GERENTE ADMINISTRATIVO – IAGRO-MT

Alexandre Andrade Zamarioli

GERENTE DA COMISSÃO DE DEFESA AGRÍCOLA

Jerusa Rech

**É permitida a reprodução desta Circular Técnica,
desde que citada a fonte.**

Para mais informações do
conteúdo dessa publicação:



65 3644-4215



defesa.agricola@aprosoja.com.br