

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE – PROGRAMA DE PÓS  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

EFEITO DE CURTO PRAZO DO CALCÁRIO  
INCORPORADO OU APLICADO EM SUPERFÍCIE  
ASSOCIADO A SUPERFOSFATO SIMPLES

Autora: Auriane Risia Marques Garcia Gomes

Orientador: Gustavo Castoldi

Rio verde – GO

Fevereiro – 2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE – PROGRAMA DE PÓS  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

EFEITO DE CURTO PRAZO DO CALCÁRIO  
INCORPORADO OU APLICADO EM SUPERFÍCIE  
ASSOCIADO A SUPERFOSFATO SIMPLES

Autora: Auriane Risia Marques Garcia Gomes

Orientador: Gustavo Castoldi

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia no Programa de Pós Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração em Produção Vegetal e Sustentável no Cerrado.

Rio Verde – GO

Fevereiro – 2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

Ge Garcia Gomes, Auriane Risia Marques  
EFEITO DE CURTO PRAZO DO CALCÁRIO INCORPORADO OU  
APLICADO EM SUPERFÍCIE ASSOCIADO A SUPERFOSFATO  
SIMPLES / Auriane Risia Marques Garcia Gomes;  
orientador Gustavo Castoldi. -- Rio Verde, 2023.  
46 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) --  
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. Calagem. 2. Fósforo. 3. Manejo de solo. 4.  
Glycine max (L.). I. Castoldi, Gustavo , orient. II.  
Título.

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado)  Artigo científico  
 Dissertação (mestrado)  Capítulo de livro  
 Monografia (especialização)  Livro  
 TCC (graduação)  Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo: \_\_\_\_\_

Nome completo do autor:

Quirine Rina Marques Gomes

Matrícula:

202.110.231.0140024

Título do trabalho:

Efeito de curto prazo do calcário incorporado ou aplicado em superfície associada a superfície simples

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

\_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 01/09/2023

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - Go  
Local

14/09/2023  
Data

Quirine Rina Marques Gomes  
Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Gustavo Castoldi  
Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 17/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**ATA Nº/210**  
**BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos vinte e oito dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e três, às 14:00h, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Presidente), Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno) e Prof. Dr. Alefe Viana de Souza Bastos (Avaliador externo), sob a presidência do(a) primeiro(a), em sessão pública realizada no IF Goiano - Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **AURIANE RISIA MARQUES GARCIA GOMES** discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora Prof. Dr. Gustavo Castoldi, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a (o) autor (a) da Dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o (a) examinado (a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Hugo Moreira Martins, secretário substituto do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Presidente)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

Prof. Dr. Alefe Viana de Souza Bastos (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alefe Viana Souza Bastos, Alefe Viana Souza Bastos - 203405 - Pesquisador das ciências agrárias - Central do Saber Soluções Pedag. e Tecn. Ltda - Epp (1)**, em 01/03/2023 08:39:40.
- **Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 28/02/2023 22:00:45.
- **Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 28/02/2023 17:46:39.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/02/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 466205

Código de Autenticação: 3762e091bf



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE – PROGRAMA DE PÓS  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

EFEITO DE CURTO PRAZO DO CALCÁRIO INCORPORADO  
OU APLICADO EM SUPERFÍCIE ASSOCIADO A  
SUPERFOSFATO SIMPLES

Autora: Auriane Risia Marques Garcia Gomes

Orientador: Gustavo Castoldi

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia – Área de Concentração em  
Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água

Prof. Dr. Marconi Batista  
Teixeira  
Avaliador interno  
IF Goiano/RV

Dr. Alefe Viana Souza Bastos  
Avaliador externo  
TERRAM

Prof. Dr. Gustavo Castoldi  
Presidente da banca  
IF Goiano/RV



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 17/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

## EFEITO DE CURTO PRAZO DO CALCÁRIO INCORPORADO OU APLICADO EM SUPERFÍCIE ASSOCIADO A SUPERFOSFATO SIMPLES

Autora: Auriane Risia Marques Garcia Gomes

Orientador: Dr. Gustavo Castoldi

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 28 de fevereiro de 2023.

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Presidente)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

Prof. Dr. Alefe Viana de Souza Bastos (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- Alefe Viana Souza Bastos, Alefe Viana Souza Bastos - 203405 - Pesquisador das ciências agrárias - Central do Saber Soluções Pedag. e Tecn. Ltda - Epp (1), em 01/03/2023 08:40:43.
- Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2023 22:00:19.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2023 17:41:11.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/02/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 466213  
Código de Autenticação: 0c454fd6af



Aos meus irmãos Wender Cardoso Pereira e Wesley Cardoso Pereira;

**OFEREÇO**

A Deus, Pai e Espírito Santo;

A minha mãe Inez Cardoso da Cruz;

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por permitir chegar até aqui, com saúde e perseverança na superação de todos os obstáculos.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa de mestrado.

A Terram – Soluções Agronômicas, pelas oportunidades e compreensão, e por auxiliar para que a realização deste trabalho fosse bem sucedido.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, pelo apoio e infraestrutura no desenvolvimento das atividades.

Agradeço ao orientador Gustavo Castoldi, pelas orientações pertinentes, pela paciência e ensinamentos no decorrer destes anos.

Agradeço ao Polo de Inovação e ao Laboratório de Fertilidade do Solo, e agradeço a ajuda dos discentes de graduação (IC) e pós graduação.

Agradeço a minha mãe Inez Cardoso da Cruz, aos meus irmãos Wender Cardoso Pereira e Wesley Cardoso Pereira, e aos demais familiares, por me ajudarem frente a todos os desafios desta caminhada, por muitas vezes entender a minha ausência, por sempre acreditarem em mim e nos meus sonhos e estarem comigo me acolhendo nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, por estarem comigo e me incentivar a concluir este objetivo e comemorar comigo as minhas conquistas.

Aos meus colegas de trabalho e gestores, e ao departamento de recomendações por me auxiliarem profissionalmente, incentivando meu crescimento e aperfeiçoamento.

Agradeço aos membros avaliadores pela disponibilidade e pelas contribuições pertinentes à dissertação.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente fez com que fosse possível a conclusão deste mestrado.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Auriane Risia Marques Garcia Gomes, nascida em Santa Helena de Goiás - GO em 07 de fevereiro de 1998. Concluiu o ensino fundamental e médio na Escola Paroquial de Santa Helena de Goiás. Concluiu a graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Goiás – Campus Sudoeste – Unidade de Santa Helena de Goiás no ano de 2021. No mesmo ano ingressou na pós-graduação *Stricto Sensu*, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, com área de concentração em Produção Vegetal e Sustentável no Cerrado. Em fevereiro de 2023, defendeu sua dissertação, parte indispensável para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia.

*A fé é a certeza daquilo que esperamos  
e a prova das coisas que não vemos!*

*Hb 11.1*

## ÍNDICE GERAL

	<b>Página</b>
ÍNDICE DE TABELAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	11
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	18
<b>2.1. Calagem</b> .....	18
<b>2.2. Adubação fosfatada na cultura da soja</b> .....	19
3. OBJETIVOS .....	22
3.1. Geral.....	22
3.2. Específicos .....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23
<b>4. CAPÍTULO I – PRODUTIVIDADE DA SOJA SUBMETIDA A DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA, DOSES DE CALCÁRIO E DIFERENTES MANEJO DO SOLO</b> .....	<b>27</b>
4.1. Introdução .....	29
4.2. Material e métodos.....	30
4.3. Resultados e discussão .....	32
4.3.1. Atributos do solo.....	33
4.3.2. Produtividade e peso de mil grãos da soja.....	39
4.3.3. Conclusão.....	41
4.3.4. Agradecimentos .....	42
Referências Bibliográficas.....	42

## ÍNDICE DE TABELAS

**Página**

### **CAPÍTULO I – PRODUTIVIDADE DA SOJA SUBMETIDA A DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA, DOSES DE CALCÁRIO E DIFERENTES MANEJO DO SOLO**

<b>Tabela 1.</b> Caracterização química do solo realizada antes da implantação do experimento (setembro de 2020), na unidade experimental da Terram, localizada no município de Jataí – GO.....	30
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para os valores de potencial hidrogeniônico (pH), e teores de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo após aplicação de calcário (CAL) combinado ou não com revolvimento do solo (REV) e aplicação de superfosfato simples (SSP). .....	33
<b>Tabela 3.</b> Teores de fósforo (P) resina ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo, na camada de 00-10 cm, 78 dias após aplicação de calcário, com interação entre a calagem, revolvimento do solo e adubação com superfosfato simples (SSP). Jataí– GO, 2021. ....	34
<b>Tabela 4.</b> Valores de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) no solo no solo, na camada de 00-10 cm, 78 dias após aplicação de calcário, com interação entre a calagem, revolvimento do solo e adubação com superfosfato simples (SSP). Jataí – GO, 2021. ....	36
<b>Tabela 5.</b> Valores de Ca ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) no solo no solo, na camada de 00-10 cm, 78 dias	

após aplicação de calcário, com interação entre a calagem, revolvimento do solo e adubação com superfosfato simples (SSP). Jataí – GO, 2021.....37

**Tabela 6.** Valores de Mg ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) no solo, na camada de 00-10 cm, em função do revolvimento do solo e calagem. Jataí – GO, 2021.....38

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para produtividade final (PROD) e peso de mil grãos (PMG) para a cultura da soja, após aplicação de calcário (CAL) combinado ou não com revolvimento do solo (REV) e aplicação de superfosfato simples (SSP). Jataí – GO, 2022.....39

**Tabela 8.** Produtividade média ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de grãos, com interação entre a calagem, revolvimento do solo e adubação com superfosfato simples (SSP). Jataí – GO, 2022....40

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Página**

### **CAPÍTULO I - PRODUTIVIDADE DA SOJA SUBMETIDA A DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA, DOSES DE CALCÁRIO E DIFERENTES MANEJO DO SOLO**

**Figura 1.** Precipitação total e temperatura média na região durante a realização do experimento. Fonte: INMET (Estação Meteorológica da Terram – Soluções Agronômicas). Jataí – GO, 2020 .....31

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/ Sigla	Significado	Unidade de Medida
P	fósforo	$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$
Ca	cálcio	$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$
Mg	magnésio	$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$
K	potássio	$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$
S	enxofre	$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$
Al	alumínio	$\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$
MO	matéria orgânica	%
Cu	cobre	$\text{mg dm}^{-3}$
B	boro	$\text{mg dm}^{-3}$
Mn	manganês	$\text{mg dm}^{-3}$
Zn	zinco	$\text{mg dm}^{-3}$
CTC	capacidade de troca catiônica	$\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$
Mo	molibdênio	$\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$
SSP	superfosfato simples	-
SPD	sistema de plantio direto	-
$\text{m}^2$	metros quadrados	-
$\text{t há}^{-1}$	toneladas por hectare	-
%	porcentagem	-
ha	hectares	-
$\text{kg há}^{-1}$	quilogramas por hectares	-
$\text{H}_2\text{PO}_4$	ácido fosfórico	-
Fe	ferro	-
cm	centímetros	-
Pres	fósforo resina	$\text{mg dm}^{-3}$
M	metros	-
PRNT	poder relativo de neutralização total	%
CaO	óxido de cálcio	-
MgO	óxido de magnésio	-
KCl	cloreto de potássio	-
H	hidrogênio	$\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$
$\text{CO}_3$	trióxido de carbono	-
$\text{HCO}_3$	bicarbonato	-
$\text{OH}^{-1}$	hidroxila	-

SB	soma de bases trocáveis	-
V	saturação por bases	%
SFT	superfosfato triplo	-
MAP	fosfato monoamônico	-
DAP	fosfato diamônico	-
Kg ha <sup>-1</sup>	quilos por hectares	-
N	nitrogênio	-
K <sub>2</sub> O	óxido de potássio	-
CaCl <sub>2</sub>	cloreto de cálcio	-
>	maior que	-
dm <sup>-3</sup>		
kg	quilograma	-
t	toneladas	-
g	gramas	
kg vaso <sup>-1</sup>	quilograma por vaso	
mg dm <sup>-3</sup>	miligrama por decímetro cúbico	-
mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	milimol por decímetro cúbico	-

---

## RESUMO

GOMES, AURIANE RISIA MARQUES GARCIA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2023. **Interação entre calcário, superfosfato simples e revolvimento do solo e resposta na produtividade da soja.** Orientador: Gustavo Castoldi.

Melhorar a qualidade do perfil do solo, assim como sua fertilidade, é primordial para o incremento da produtividade das culturas. O estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar respostas na produtividade da soja e na fertilidade do solo, realizando a aplicação a calagem associada com a adubação fosfatada e utilizando dois manejos do solo, com e sem incorporação. O experimento foi realizado no município de Jataí – GO. Utilizou-se um delineamento de blocos ao acaso, arranjos em esquema fatorial 3x2x2, com 4 repetições e 12 tratamentos, sendo eles: dois níveis de calcário (0 e 4 t ha<sup>-1</sup>), dois manejos de revolvimento do solo (com e sem revolvimento) e dois níveis de adubação fosfatada na forma de Superfosfato Simples (SSP) (0 kg/ha<sup>-1</sup> e 115 kg ha<sup>-1</sup>). A soja cultivar ST721 IPRO foi semeada 78 dias após a aplicação dos tratamentos. O solo foi amostrado e analisado 49 dias após. Avaliou-se também os parâmetros produtivos da cultura. A calagem com associação da adubação fosfatada, utilizando o SSP, não diminuiu a disponibilidade do P no solo, junto com a aplicação de calcário que favoreceu, aumentando os níveis dos nutrientes nos tratamentos que não houve a adubação, demonstrando que a aplicação de calcário tem atuação diretamente com a disponibilidade de P.

**PALAVRAS-CHAVE:** Calagem; Fósforo; Manejo de solo; *Glycine max* (L.)

## ABSTRACT

GOMES, AURIANE RISIA MARQUES GARCIA. Federal Institute Goiano – Campus Rio Verde – GO, February 2023. **Interaction between limestone, simple superphosphate and soil revolving and response in soybean productivity.** Advisor: Gustavo Castoldi

Improving the soil profile quality as well as its fertility is paramount for increasing crop productivity. The study was developed to evaluate responses in soybean productivity and soil fertility, performing the liming application associated with phosphate fertilization, and using two soil management, with and without incorporation. The experiment was carried out in the city of Jataí - GO. A randomized block design was used, arranged in a 3x2x2 factorial scheme, with 4 replications and 12 treatments, being: two limestone levels (0 and 4 t ha<sup>-1</sup>), two tillage of the soil (with and without tillage) and two phosphate levels fertilization in the form of Simple Superphosphate (SSP) (0 kg/ha<sup>-1</sup> and 115 kg ha<sup>-1</sup>). The soybean cultivar ST721 IPRO was sown 78 days after the treatment's application. The soil was sampled and analyzed 49 days after. It was also evaluated the productive parameters of the culture. The liming with phosphate fertilization association, using SSP, did not decrease the P availability in the soil, along with the limestone application also favored increasing in nutrients levels in treatments that did not limestone application has direct action with the P availability.

**KEY-WORDS:** Liming; Phosphorus; Soil management; *Glycine max* (L.)

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*), que tem sua origem na China, foi introduzida no Brasil na década de 1960 por imigrantes (PINTO *et al.*, 2017). O Brasil hoje é o segundo maior produtor de grãos de soja no mundo, com estimativa de área produzida na safra 2021/22 de aproximadamente 43,4 milhões de hectares (CONAB, 2022). Mesmo com a alta produção da cultura mundialmente, Branco *et al.* (2021) destacam que produção pode aumentar em 66% até o ano de 2050. Considerando que não haverá maiores degradações ambientais, essa estimativa analisa o crescimento sobre as áreas de pastagens degradadas ou em processo de degradação. Essa é a realidade de grande parte da região de MATOPIBA, composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e em outras microrregiões, como o estado ocidental de São Paulo e o Vale do Araguaia, no estado de Mato Grosso, áreas que apresentam solos arenosos e com baixas fertilidades (ARAÚJO *et al.*, 2019).

O desenvolvimento da cultura da soja é afetado por diversos fatores, incluindo a crescente exigência de nutrientes. Grande parte dos solos brasileiros possuem níveis altos de acidez ( $\text{pH} < 5,5$ ) e baixa fertilidade natural, que resulta em limitações para a produção (NATALE *et al.*, 2016). O baixo pH do solo está associado à presença de alumínio tóxico ( $\text{Al}^{3+}$ ) para as plantas, interferindo nos processos biológicos e físicos, e conseqüentemente na redução do crescimento da raiz (SILVA, 2018). Sabendo-se isso, é necessário que solos de baixa fertilidade sejam corrigidos, e a forma mais eficiente é via uso do calcário, que pode auxiliar na disponibilidade de elementos no solo, ao passo que neutraliza  $\text{Al}^{3+}$  e eleva o pH do meio (BASTIDAS *et al.*, 2008). Portanto, deve-se realizar amostragem de solo de forma periódica para analisar os níveis de nutrientes disponíveis e outros atributos importantes para tomada de decisão visando maiores produtividades.

O calcário agrícola possui baixa solubilidade em água e sua reação depende da interface com as partículas do solo e umidade (NATALE *et al.*, 2016). Recomenda-se que sua aplicação seja feita com pelo menos 90 dias de antecedência à semeadura, para que o produto, havendo umidade, possa reagir por completo (SFREDO, 2008). Entretanto, sabe-se que por muitas vezes, na prática e nas operações agrícolas, esse intervalo de tempo não é respeitado, pelas condições de campo, clima e disponibilidade de mão de obra e máquinas. Quando não é possível realizar a correção do solo com meses de antecedência, o produto não tem o tempo suficiente para reagir no solo, podendo ter redução do seu efeito e na produção do grão (RAIJ *et al.*, 1997).

Em relação aos parâmetros relacionados à acidez, que incluem  $\text{Al}^{3+}$  em altos níveis, sua presença no ambiente é tóxica para as plantas, podendo retardar o crescimento e o desenvolvimento radicular, aumentar o diâmetro radicular e reduzir o número de raízes laterais. Sendo assim, a calagem é feita para neutralizar o alumínio trocável, que, por ser insolúvel, é convertido em forma não tóxica para as plantas e por causa da neutralização parcial do  $\text{H}^+$  adsorvido, o pH aumentará devido à redução do  $\text{Al}^{3+}$  tóxico na solução do após a precipitação. Além disso, o alumínio presente, quando hidroxilado com as bases produzidas pela reação do calcário com a água, aumenta o pH do solo ao reduzir sua concentração na solução, que é a fonte de acidez (ALVES *et al.*, 2021).

O mecanismo de correção da acidez por meio da calagem inicia com a solubilização dos carbonatos [ $\text{Ca (Mg) CO}_3$ ] que compõem o calcário. Devido a solubilização, ocorre a formação de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e a liberação de hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) no solo, neutralizando o  $\text{H}^+$  em solução, ao passo podem precipitar o  $\text{Al}^{3+}$  (AULER, 2018). A aplicação do calcário, além de corrigir o pH do solo e precipitar o  $\text{Al}^{3+}$ , também pode proporcionar outros efeitos positivos, tais como aumento do teor de Ca e Mg, CTC, SB e V% (OLIVEIRA *et al.*, 2020) e aumento de P e S no tecido foliar da soja (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015). A correção da acidez do solo também promove melhor fixação do N pelos microrganismos presentes nos nódulos radiculares da cultura da soja (ALVES *et al.*, 2021).

Calonego *et al.* (2012), constataram em um solo Argiloso Vermelho-Amarelo que a calagem aumentou o pH e reduziu o  $\text{H}^+\text{Al}$  de forma linear entre 60 e 180 dias após aplicação, tendo observado que já aos 60 dias da aplicação do corretivo, o pH passou de 4,3 para uma média de 6,1. Aos 180 dias, os valores subiram para 6,4, quando se estabilizaram. Em condições de pH baixo, o crescimento das raízes é limitado e torna-se um obstáculo para o desenvolvimento da cultura. Com isso, o volume de solo que as raízes

exploram em profundidade pode ser menor, reduzindo a absorção de nutrientes e água pela planta, principalmente em condições de déficit hídrico, resultando em menores rendimentos (ECKERT, 2022).

O manejo dos fertilizantes fosfatados é uma etapa importante no processo produtivo da soja, uma vez que a disponibilidade desse elemento em condições naturais nos solos brasileiros é muito baixa, devido ao pH ácido. As plantas apresentam respostas positivas à aplicação de P, uma vez que apresenta importância no metabolismo vegetal da planta, desempenhando papel indispensável na transferência de energia celular, respiração, taxa fotossintética da planta, absorção dos nutrientes do solo e síntese de compostos orgânicos (TAIZ; ZIEGER, 2009) Nesse sentido, limitar a disponibilidade desse nutriente leva a restrição do desenvolvimento das plantas (SILVA *et al.*, 2014), afetando a produtividade final.

A aplicação do calcário combinado com a adubação fosfatada pode levar ao aumento do pH do solo, e a disponibilidade de P para as plantas. Observações reforçadas por Negreiros (2014), que relata o aumento do pH do solo e do teor de P no solo ao estudar a interação entre fontes de calcário e P em solos de classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, com a elevação do pH do solo e aumento do teor de P com calcário + superfosfato triplo na profundidade de 0-40 cm, e com calcário + super fosfato simples e calcário + fosfato natural reativo na camada de 10-20 cm.

Alguns trabalhos vêm apresentando resultados que demonstram incremento na produtividade dos grãos, e aumentando teores de nutrientes como P, Ca, Mg e N. A incorporação do corretivo aumentou em 20% a produtividade no cultivo de aveia preta em relação a aplicação superficial, com e sem a adubação com P (BELLINASO, 2019). Para Broch (2008), a aplicação de doses crescentes de P apresentou incremento na produtividade da soja associada a aplicação de calcário, quando o solo apresentou condições de acidez. Tais resultados evidenciam a importância do manejo de calagem + fosfatagem, visando maximizar a produtividade dos grãos de soja. Ainda se discute, no entanto, como tal relação acontece, ou mesmo quais potenciais prejuízos, quando calcário e fertilizantes fosfatados são aplicados concomitante.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Calagem

A acidez dos solos tropicais é um desafio para o aumento do potencial produtivo das culturas (MENG *et al.*, 2019). Solos ácidos limitam o rendimento das plantas, uma vez que nessa condição a concentração dos nutrientes é reduzida ao passo que a toxicidade de alguns elementos é aumentada (BOSSOLANI, 2021), impactando negativamente o crescimento das raízes e dificultando a absorção de nutrientes (COSTA *et al.*, 2018). Utiliza-se a calagem para neutralização desses solos (BOSSOLANI *et al.*, 2021), melhorando e restaurando a capacidade de produção, resultando em maior disponibilidade de nutrientes e diminuindo perda durante o desenvolvimento da cultura (LI *et al.*, 2019).

A aplicação do calcário pode ocorrer de forma incorporada ao solo, que é a aplicação seguida de operações de aração e gradagem da área, ou feita de forma superficial, sem que haja o revolvimento. A incorporação do calcário é indicada em situações que há a necessidade de correção com maiores doses do produto e quando se necessita de correção em maiores profundidades, uma vez que o calcário é pouco móvel no solo (NATALE *et al.*, 2016). Como fator negativo desse tipo de manejo, é prática que pode acarretar a compactação e destruição de agregados do solo, podendo também diminuir a capacidade do solo em armazenar água (KURIHARA *et al.*, 2014).

As baixas fertilidades nas camadas do perfil do solo impactam o desenvolvimento da planta, limitando o crescimento radicular, e afetando a absorção de água, nutrientes do solo, ocasionando no final, baixas produtividades (CARMEIS FILHO *et al.*, 2017). No plantio direto estabelecido, a calagem é realizada apenas superficialmente, causando efeitos

que se limitam as camadas superficiais do solo, fazendo com que seja uma prática que pode não apresentar altas eficácias para a cultura (FONTOURA *et al.*, 2019).

Nas camadas mais profundas, a correção pode ocorrer de forma mais lenta a depender do manejo realizado e do tipo de solo, também dependendo da frequência de aplicação do produto, doses, clima e necessidades hídricas (AULER *et al.*, 2019). Se o plantio direto não for realizado da maneira correta, ou seja, tendo o mínimo de revolvimento do solo ou a manutenção da palhada não for adequada, a chegada do calcário no perfil do solo é dificultada, evidenciando a necessidade, por vezes, de uma subsolagem.

A calagem também aumenta a disponibilidade de P e reduz a toxidez por Al e Mn no solo (ARAUJO *et al.*, 2009). Dentre os corretivos de acidez, o calcário é um dos mais estudados, em busca de melhorar os atributos por meio do seu uso, por isso, as pesquisas que comprovam sua eficácia e melhores manejos a serem adotados são importantes. Para isso é essencial conhecer fundamentos como formas e épocas de aplicação, melhores doses, tempo de reação do solo, efeito residual, solubilidade.

## **2.2. Adubação fosfatada na cultura da soja**

O P é um dos nutrientes que as plantas necessitam em maior quantidade. Na soja, a recomendação, de acordo com Borkert *et al.* (1994), deve ser realizada de uma só vez na área toda, podendo ser no plantio. Para Sousa *et al.* (2004), a adubação fosfatada pode ser feita a lanço em superfície ou incorporada, porém, as condições ideais de aplicação do nutriente ainda não é definida, uma vez que depende de fatores como sua disponibilidade no solo, já que a extração do nutriente pelas plantas é determinante para a eficiência do P (RESENDE; FURTINI NETO, 2007).

O desenvolvimento da planta é influenciado pelos teores dos nutrientes disponíveis e por suas características fotossintéticas (CHAI *et al.*, 2014). Por apresentar papel importante na composição de moléculas que são fundamentais no desenvolvimento da planta, o P é um elemento essencial visando crescimento da cultura e seu déficit pode acarretar perdas na produtividade da cultura. Na soja, o P é essencial nesses processos e contribui para a nodulação da planta e assim como consequência na atividade de fixação biológica do N. Por ser um nutriente pouco móvel no solo, estudos apontam que cerca de 70% do P aplicado via fertilizantes permanece no solo, em formas que não são absorvidas pelas plantas (PAVINATO *et al.*, 2020).

Pode-se estimar a demanda por nutrientes analisando a extração e exportação na cultura, em que extração contabiliza os nutrientes que é retirado pela planta para que seu ciclo seja completado, e a exportação é a parte dessas nutrientes que são removidos pelos grãos, considerando grãos como produto da colheita. Considerando também que a absorção dos nutrientes pelas plantas depende de vários fatores, como clima, genética e disponibilidade de nutrientes, maiores produtividades requerem maiores quantidades do nutriente. A maior ou a menor eficiência no aproveitamento do P presente no solo é provocada por diferenças na absorção, translocação e utilização desse nutriente pelas plantas (GERLOFF; GABELMAN, 1983).

Para adubação fosfatada, existem diferentes fontes de P, que se diferenciam de acordo com a solubilidade e quantidade de  $P_2O_5$ , sendo eles: fosfatos naturais com baixa, média e alta reatividade, superfosfatos simples e triplo, monocálcicos, fosfatos monoamônico (MAP) e amônico (DAP). Dentre esses, os superfosfatos, o MAP e o DAP são os mais solúveis em comparação aos fosfatos naturais, e são produtos que apresentam maior eficiência agrônômica, com resposta mais rápida (OLIVEIRA; DUARTE, 2019). Inicialmente a disponibilidade de P insolúvel aplicado no plantio é baixa, pelas ligações covalentes entre P e a superfície dos colóides do solo (SOUSA *et al.*, 2016), entretanto, o nutriente é disponibilizado ao longo do ciclo da cultura (OLIVEIRA; DUARTE, 2019).

A eficiência desses adubos tem sido um desafio nos solos brasileiros, nos quais boa parte da adubação fosfatada fica indisponível para as plantas por causa da fixação do P, sendo necessários maiores quantidades de adubação para suprir o P no solo (RESENDE; FURTINI NETO, 2007). A planta responde a adubação fosfatada dependendo de fatores que podem ser internos e externos. Os internos relacionam a situação nutricional da planta, a cultivar, podendo interferir na absorção de P (ARAUJO *et al.*, 2019), e aos fatores externos, destacam a textura e umidade do solo, sendo essenciais no processo de absorção do nutriente pela planta (SILVEIRA; MOREIRA, 1990). Pela planta, o aproveitamento eficiente do uso do fertilizante pode ser dado pelo ponto fisiológico ou agrônômico (PETTER *et al.*, 2012), as respostas a altas doses de P são comuns em solos com baixos teores disponíveis do nutriente, essa baixa disponibilidade pode dar a fixação do P no solo, sendo necessária dose mais elevadas do nutriente (RAIJ, 1997).

A dinâmica dos nutrientes no solo ocorre de formas diferentes dependendo de como é realizado o manejo no momento da semeadura, sendo feito o plantio convencional (SPC) ou plantio direto (SPD), as reações que ocorrem refletem nas formas de acúmulo de P no solo (NUNES, 2014). Autores relatam que comparando os dois tipos de plantio,

encontra-se em solos sob SPD maiores teores de P orgânico (TIECHER *et al.*, 2012) e P inorgânico (NUNES, 2014; RODRIGUES *et al.*, 2016). No SPD, com a manutenção de resíduos vegetais na superfície proporciona maior acúmulo de MO nessas camadas, e assim, há competição de ânions e substâncias húmicas com fosfatos pelos sítios de adsorção, permitindo o acúmulo de P lábil nas camadas mais superficiais (DARYANTO *et al.*, 2017). A maior parte desse nutriente encontra-se no solo imobilizado nas formas insolúveis de fosfatos de cálcio, ferro e alumínio ou fortemente adsorvido a argilominerais (NOVAIS; SMYTH, 1999).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Geral

Avaliar a interação entre calcário e superfosfato simples aplicados concomitantes, e seus efeitos de curto prazo na fertilidade do solo e na produtividade da cultura da soja.

#### 3.2. Específicos

- I. Determinar o efeito da aplicação de calcário e a disponibilidade de P no solo, na camada superficial, 78 dias após a aplicação de calcário;
- II. Avaliar os parâmetros produtivos da cultura da soja submetida a aplicação de calcário com e sem SSP, e manejada com e sem incorporação do solo;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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; CAMPITTI I.A.; TIECHER T. Biological N<sub>2</sub> fixation by soybeans grown with or without liming on acid soils in a no till integrated crop livestock system. **Soil And Tillage Research**, v. 209 s/n, p. 104923, 2021.

ARAUJO S.R.; DEMATTE J.A.N; GARBUIO F. J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.33, p.1755-1764, 2009.

ARAUJO, M.L.S.; SANO, E.E.; BOLFE, E.L.; SANTOS, J.R.N.; SANTOS, J.S.; SILVA, F.B. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Motopiba region Brazil (1990-2015), **Land Use Policy**, v.80, p.57-67, 2019.

AULER, A. C. **Efeito de corretivos de acidez do solo associado ao gesso agrícola sobre os atributos físico e químicos do solo**. 2018. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – Pr, 2018.

AULER, André C. et al. Lime effects in a no-tillage system on Inceptisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v.16, p.1-11, 2019.

ÁVILA, C.J.; GRIGOLLI, J.F.J. Pragas da soja e seu controle. In: Lourenção, ALF.; Grigolli, JFJ, Melotto, AM, Pitol, C, Gitti, DC, Roscoe, R. **Tecnologia e produção soja 2013/2014**. Curitiba: Midiograf, 2014.

BASTIDAS, A.M.; SETIYONO, T.D.; DOBERMANN, A.; CASSMAN, K.G.; ELMORE, R.W.; GRAEF, G.L.; SPECHT, J.R. Soybean sowing date: The vegetative, reproductive, and agronomic impacts. **Crop Science**, v.48, n.2, p.727-740, 2008.

BELLINASO, R.J.S. **Formas de aplicação de fósforo sob calagem incorporada e superficial: efeito na acidez, disponibilidade de nutrientes e resposta de culturas**. 2019. Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo - RS, 99p. 2019.

BORKERT, C.M; YORINORI, J.T; FERREIRA, B.S.C; ALMEIDA, A.M.R; FERREIRA, L.P; SFREDO, G.J. **Seja doutor da sua soja. Informações agronômicas**, n.66, 1994.

BOSSOLANI, J.W.; CRUSCIOL, C.A.; LEITE, M.F.; MERLOTI, L.F.; MORETTI, L.G. 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**, v.156, p.108-188, 2021.

BRANCO, J.E.H.; BARTHOLOMEU, D.B.; JUNIOR, P.N.A.; CAIXETA FILHO, J.V. Mutual analyses of agriculture land use and transportation networks: The future location of soybean and corn production in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 194, p. 1-10, 2021.

BROCH, D.L.; NOLLA, A.; DEL QUIQUI, E.M.; POSSENTI, J. C. Influência no rendimento de plantas de soja pela aplicação de fósforo, calcário e gesso em um latossolo sob plantio direto. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. v.10, n.2, p.211-220, 2008.

CALONEGO, J. C.; MORA, V. S.; SANTOS, C. H.; OLIVEIRA, L. Calagem e silicatagem em solo incubado com diferentes umidades. **Colloquium Agrariae**, v.8, n.2, 2012.

CARMEIS FILHO, A.C.A.; CRUSCIOL, C.A. C.; CASTILHOS, A.M. Liming demand and plant growth improvements for an Oxisol under long-term no-till cropping. **The Journal of Agricultural Science**, v.155, n.7, p.1093-1112, 2017.

CHAI, Q.; GAN, Y.T.; TURNER, N.C.; ZHANG, R.Z.; YANG, C.; NIU, Y.N.; SIDDIQUE, K.H.M. Capítulo dois – Inovações para economia de água na agricultura chinesa, *Advances in Agronomy*, **Academic Press**, p. 149-201, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Segundo levantamento 2021/2022. Brasília: CONAB, 2023.

COSTA, C.H.M.; CARMEIS FILHO, A.C.; CRUSCIOL, C.A.; SORATTO, R.P.; GUIMARÃES, T.M. Intensive annual crop production and root development in a tropical acid soil under long-term no-till and soil-amendment management. **Crop and Pasture Science**, v.69, n.5, p.488-505, 2018.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P.A. Meta-Analysis of Phosphorus Loss from No-Till Soils. **Journal of Environmental Quality**, v.46, n.5, p.1028-1037, 2017.

ECKERT, D. J. **Superfosfato simples em substituição ao gesso agrícola: rendimento de grãos e propriedades químicas em solos subtropicais sob plantio direto**. 2022. 48p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

FONTOURA, S.M.V.; CASTRO, P.O.H.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M.R.; MORAES, R.P.; BAYER, C. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil Tillage Res.**v.193, p. 27–41, 2019.

GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Genetic Basis of Inorganic Plant Nutrition. In: Läuchli, A. and Bielecki, R.L., Eds., **Encyclopaedia of Plant Physiology New Series**, Volume 15B, Springer-Verlag, New York, p.453-480, 1983.

KURIHARA, C.H.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.D.; STAUT, L. A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, v.60, n.3, p.412-419, 2014.

LI, Y; CUI, S; CHANG, SX; 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, 2019.

MENG, C.; TIAN, D.; ZENG, H.; LI, Z.; YI, C.; NIU, S. Global soil acidification impacts on belowground processes. **Environmental Research Letters**, v.14, n.7, p.1-10, 2019.

NATALE, W.; ROZANE, D.E.; PARENT, L. E.; PARENT, S.E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2016.

NEGREIROS, A. B. **Teores de nutrientes, atributos microbianos e dinâmica do fósforo em função da calagem, fosfatagem e manejo do solo no cerrado piauiense**. 2014. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia) - Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, 2014.

NOVAIS R.F., SMYTH T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399p.

NUNES, R.S. **Eficiência de uso do fósforo em sistemas de manejo do solo e adubação fosfatada por um longo período**. 2014. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília (Tese de Doutorado). 150p. 2014.

OLIVEIRA, L. V; DUARTE, I. N. Cultivo do milho em vasos com diferentes fontes de fósforo. Monte Carmelo, Unifucamp, 2019.

OLIVEIRA, M.R.; FERNANDES, D.M.; BÔAS, R.L.V.; BACKES, C.; GODOY, L.G.J.G; SANTOS, A.J.M. Soil correction for planting bermudagrass using steel slag or limestone. **Ornamental Horticulture**, São Paulo, v.26, n.3, p. 475-483, 2020.

PAVINATO, P.S.; CHERUBIN, M.R.; SOLTANGHEISI, A.; ROCHA, G.C.; CHADWICK, D.R.; JONES, D.L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v.10, n.11, p.1-11, 2020.

PEREIRA, M. G; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 45, n. 5, p.508-514, 2010.

PETTER, F. A.; SILVA, J.A.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F. A.; ALCANTARA NETO, F.; ZUFFO, A.M.; LIMA, L.B. Desempenho agrônomico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural And Environment of Sciences**, Manaus, v.55, n.3, p.190-196, 2012.

PINTO, R.S., BOTELHO, F.M., BOTELHO, S.C.C., ANGELI, A.M. Qualidade de grãos de soja em diferentes épocas de colheita. **Nativa**, v.5, p.463-479, 2017.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; OUAGGIO, J.A.; A.M.C. (2 Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC. Boletim Técnico, 100), 1997, p. 221-229.

RESENDE, A.V. de.; FURTINI NETO, A.E.; **Aspectos relacionados ao manejo de adubação fosfatada em solos do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 32p.

RODRIGHERO, M. B; BARTH, G; CAIRES, E. F. Surface Application of Limestone with Different Magnesium Contents and Granulometry in a No-Till System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v.45, p.1723-1735, 2015.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P.S.; WITHERS, P.J.A.; TELES, A.P.B.; HERRERA, W.F.B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 1050-1061, 2016.

SFREDO, G.J. Calagem e adubação da soja. **Embrapa Soja Circular Técnica 61**, Londrina, PR, 2008.

SILVA, B.E.M., SILVA, T.J., CABRAL, C.E.A.; GONÇALVES, J.M., PEREIRA, M.T.J. Produção e morfologia da leguminosa java submetida a adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, p.1-10, 2014.

SILVA, C.O. **Efeitos do alumínio em raízes de soja: alterações morfoanatômicas, fisiológicas e metabólicas**. Universidade Federal de Viçosa, Tese de Doutorado, 2018.

SILVEIRA, P.M. da.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas de água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.63-67, 1990.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S., REIN; T. A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. Manejo do fósforo na região do cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. (Eds.). **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p. 291-357.

TAIZ, L. ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Trad: Eliane R. Santarém et. al, 4ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 848p.

TIECHER, T.; SANTOS, D.R.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long-term experiment. *Soil and Tillage Research*, v. 124, p. 57-67, 2012.

#### **4. CAPÍTULO I – PRODUTIVIDADE DA SOJA SUBMETIDA A DOIS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA, DOSES DE CALCÁRIO E DIFERENTES MANEJO DO SOLO**

(Normas de acordo com a revista Ceres)

**Resumo:** O estudo foi desenvolvido com o intuito de avaliar a produtividade da soja quando se realizou a calagem associada a adubação fosfatada, em solos com e sem revolvimento do calcário. O experimento foi realizado em delineamento DBC, em fatorial 2x2x2, com 4 blocos e 12 tratamentos, sendo eles: dois níveis de calcário (0 e 4 t ha<sup>-1</sup>), dois manejos de revolvimento do solo (com e sem revolvimento) e dois níveis de adubação fosfatada na forma de superfosfato simples (SSP) (0 e 115 kg há<sup>-1</sup>), conduzido na estação de pesquisa da Terram, em Jataí – GO. A semeadura foi realizada no dia 27 de outubro de 2020 e a colheita no dia 26 de fevereiro de 2021, e foi feita as avaliações de determinação do stand final de plantas, peso de mil grãos e produtividade. A calagem apenas aplicada em superfície, imediatamente antes da semeadura da soja, demonstrou incremento da produtividade quando não teve incorporação do corretivo, o que não ocorre quando se tem o revolvimento do solo, que aumentou a produtividade apenas quando não se realizou a calagem.

**Palavras-chave:** Calagem; Fosfatagem; Fertilidade dos solos; Retrogradação.

#### **4. SOYBEAN YIELD SUBMITTED TO TWO PHOSPHATE FERTILIZATION LEVELS, LIME DOSES AND DIFFERENT SOIL MANAGEMENT**

**Abstract:** The study was developed to evaluate the soybean yield when liming was performed associated with phosphate fertilization in soils with and without calcareous overturning. The experiment was carried out in a DBC design, in 2x2x2 factorial, with 4 blocks and 12 treatments, which are: two limestone levels (0 and 4 t ha<sup>-1</sup>), two tillage of the soil (with and without tillage) and two phosphate fertilization levels in the form of simple superphosphate (SSP) (0 and 115 kg ha<sup>-1</sup>), conducted at the Terram research station in Jataí - GO. Sowing was carried out on October 27, 2020 and harvesting on February 26, 2021, where the evaluations of the final stand of plants, weight of a thousand grains and productivity were made. The liming applied on the surface, immediately before the soybean sowing, showed increased productivity when there was no incorporation of the corrective, which does not occur when the soil has been revolved which increased productivity only when liming was not carried out.

**Key words:** Liming; Phosphating; Soil fertility; Retrogradation.

#### 4.1. Introdução

A soja é uma das principais culturas produzidas no país, sendo uma commodity de importância mundial, e amplamente difundida por sua diversidade de formas de utilização. Nacionalmente, na safra 21/22 a oleaginosa teve a produção de 123.829,5 milhões de toneladas, em uma área plantada de 40.921,9 milhões de hectares com estimativa de 0,4% para a próxima safra (Conab, 2023). A maioria dos solos brasileiros possuem alto nível de acidez, e em geral possuem baixos níveis de Ca e Mg, os solos ácidos podem causar toxidez para as culturas, e uma das alternativas para corrigir o solo é por meio da calagem (Costa *et al.*, 2021).

O P não está prontamente disponível na maioria dos solos, portanto, é necessário fornecer nutrientes por meio da aplicação de fertilizantes fosfatados, geralmente em grandes quantidades para compensar as perdas por adsorção (Roy *et al.*, 2016). Outro fator importante que deve ser considerado é que a maioria dos solos ácidos apresenta baixos níveis de instabilidade de P devido à extensa sorção de nutrientes pelas partículas do solo, limitando a eficiência da adubação fosfatada. A calagem é, portanto, uma etapa essencial para otimizar o aproveitamento dos nutrientes adicionados pela adubação pelas plantas (Araújo *et al.*, 2019).

Além da fixação do P, o processo de retrogradação é outra reação que pode ser prejudicial à disponibilidade do P no solo. A precipitação do P no solo ocorre em maior parte relacionado ao pH, em que solos ácidos reagem com ferro e alumínio nas formas iônicas e formam composto como  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ . Também, em solo alcalino, com pH maior que 7,0, pode levar a precipitação de íons de cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ :  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), esses processos favorecem a retrogradação do solo, podendo deixá-lo indisponível para a planta (Novais *et al.*, 2007).

Não se recomenda a aplicação de calcário e a adubação de P de forma simultânea, por causa da incompatibilidade desses produtos, juntamente com o tempo que se recomenda a reação do calcário no solo. Em contrapartida, diferentemente foi observado por Souza *et al.* (1983), que não encontrou efeito negativo da aplicação do calcário e superfosfato triplo em relação a disponibilidade de P no solo, para a cultura do sorgo. A baixa mobilidade do calcário no solo e a necessidade de maior tempo para reação, em conjunto. Em trabalho realizado por Kliemann (1995) concluíram que a calagem não interferiu sobre a produção de grãos quando foi realizado a adubação fosfatada, utilizando diferentes fontes do nutriente, os rendimentos da cultura utilizando o superfosfato triplo e

realizando a calagem não teve interferência quando não foi realizado a aplicação do calcário para os dois tipos de solos no estudo, solo argiloso distrófico com 67% de argila e o LE distrófico com 38% de argila.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do calcário aplicado em curto prazo associado com SSP, em solos com e sem incorporação na produtividade da soja.

#### 4.2. Material e métodos

O experimento foi realizado na safra 2022/21, em condições de campo, na Estação de Pesquisa da Terram, localizada no município de Jatai-GO (Latitude: 17° 52' 33" Sul, Longitude: 51° 43' 17" Oeste) e com altitude média de 708 m.

Antes da implantação do ensaio, foi realizado uma amostragem do solo nas camadas de 00-10 e 10-20 cm, e analisado quanto a características de fertilidade básica e granulometria (Tabela 1).

Tabela 1 Caracterização química do solo realizada antes da implantação do experimento (setembro de 2020), na unidade experimental da Terram, localizada no município de Jataí – GO.

Camada	pH	M.O	CTC	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	V	Pres	S	B	Cu	Mn	Zn
	CaCl <sub>2</sub>	%	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%					mg dm <sup>-3</sup>			
00-10	4,9	3,3	11,1	5,8	0	0,37	4,0	0,9	5,3	48	20	31	1,1	3,5	65	3,2
10-20	4,9	2,6	8,6	4,6	0	0,32	2,9	0,8	4,0	47	5	19	1,1	4,1	36	1,0

P<sub>res</sub> – fósforo resina; S – enxofre; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H – hidrogênio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; V – saturação por bases; M.O. – matéria orgânica; B – boro; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês; Zn – zinco; pH – potencial hidrogeniônico. Realizada pelo IBRA, 2020.

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho, e o clima, de acordo com a classificação de Koppen, é Aw tropical de savana e megatérmico, com estações secas e chuvosa definidas (Inmet, 2013). A área do experimento possui histórico de rotação, iniciado pelo cultivo de crotalaria (2019), seguida de soja (2019/20) e milho (2020). Durante a realização do experimento foi registrada a precipitação total de 836 mm (Figura 2).

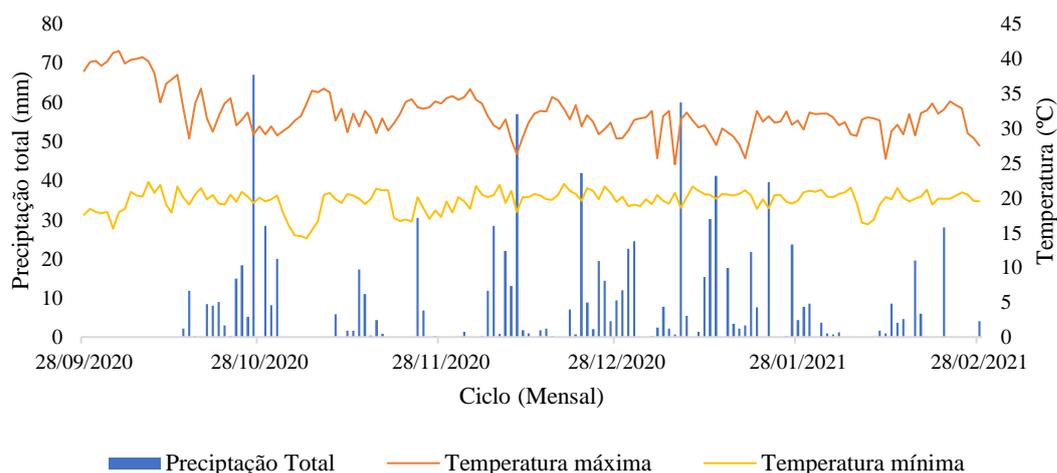


Figura 1 Precipitação total e temperatura média na região durante a realização do experimento. Fonte: INMET (Estação Meteorológica da Terram – Soluções Agronômicas). Jataí – GO, 2020.

O delineamento experimental utilizado foi o de bloco ao acaso, em fatorial  $2 \times 2 \times 2$ , com 4 blocos. Os fatores foram dados por dois níveis de calagem (com e sem aplicação de  $4 \text{ t há}^{-1}$  calcário aplicado em superfície), dois manejos de calcário (incorporação ou não), e dois níveis de adubação fosfatada na forma de superfosfato simples (SSP) (com e sem adubação).

A aplicação do calcário em superfície foi realizada em 28/09/2020, no final da estação seca - normalmente quando os produtores locais fazem a aplicação de calcário. Após a aplicação do calcário, no mesmo dia, procedeu-se o revolvimento do solo nas parcelas sob o tratamento ‘com incorporação’. O revolvimento foi feito com um motocultivador, modelo Tobata Tratorito, movido a gasolina, com 6,5CV BTTG 6.5, e limitou-se à profundidade de 10 cm. Ainda no mesmo dia, fez-se a aplicação do SSP em superfície nas parcelas que receberam adubação fosfatada. O calcário utilizado nos tratamentos tinha PRNT de 90%, CaO 30% e MgO 18%, e o SSP contava com 18% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . A dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  utilizada foi de  $115 \text{ kg ha}^{-1}$ , considerando à proximidade do nível de P da área (Tabela 1) ao nível crítico e a adubação do sistema soja–milho, principal sistema de produção da região.

A cultura da soja, cultivar ST721 IPRO, foi semeada mecanicamente no dia 27/10/2020, com população esperada de  $380.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ . A cultivar apresenta características de ciclo médio de 110 dias, com alto potencial de engalhamento e teto produtivo. As parcelas foram compostas por 6 linhas de cultivo, espaçadas 0,5 m entre si,

e com 7 m de comprimento, estabelecendo parcelas com área de 21 m<sup>2</sup>. Para o manejo de manutenção da área foi feita também a adubação com 135 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de KCl, aplicado a lanço em todas as parcelas.

Para as avaliações das variáveis do solo, foram realizada análise de solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm, sendo coletadas 4 subamostras dentro de cada parcela, realizando uma composta por parcela, 49 dias após o plantio da soja, coincidindo com o período de pleno florescimento da cultura.

Na condução do experimento, os tratos culturais foram realizados conforme necessidade da cultura, e estão listados a seguir: 20/11;2020 = aplicação de 2L ha<sup>-1</sup> de glifosato + 0,5 L ha<sup>-1</sup> Clethodim + 0,2 L ha<sup>-1</sup> Tiametoxam + 0,2 L ha<sup>-1</sup> Adjuvante + Poliflex 50 L ha<sup>-1</sup>; 28/11/2020 = 0,4 L ha<sup>-1</sup> Protiocanazol + 0,2 L ha<sup>-1</sup> Adjuvante + 50 L ha<sup>-1</sup> Adjuvante; 16/12/2020 = 0,2 L ha<sup>-1</sup> Carboxamida + 1 L ha<sup>-1</sup> Isoftalonitrila e Clorotalonil + Adjuvante 0,2 L ha<sup>-1</sup> + Alquil ester fosfatado 0,25 L ha<sup>-1</sup>; 13/01/2023 = 0,4L ha<sup>-1</sup> Metomil.

A colheita do ensaio foi realizada em 26/02/2021. Foi colhido de forma manual 3 linhas, com 3 m cada dentro da área útil de cada parcela. As plantas foram trilhadas mecanicamente, e os grãos pesados e aferidos quanto à umidade para cálculo da produtividade de grãos (a 13% de umidade). Realizou-se também a pesagem de 4 subamostras de grãos de cada parcela a fim de determinar o peso médio de mil grãos.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA), e ao teste de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ), utilizando o método de fatorial triplo, por meio do software Sisvar versão 5.6.

A análise de variância para experimentos de fatorial triplo, é um método que permite a determinação do efeito de três fatores, sendo eles A, B e C, estes representam cada, uma variável independente, sob uma variável de resposta ou de uma dependente (Vieira, 1999). A interação tripla utilizada neste trabalho, de acordo com Banzatto e Kronka (2013), necessita de desdobramento da interação que deve ser estudado os contrastes e média de interesse, quais sejam, testando as médias do fator A dentro dos níveis dos fatores B e C, testar também os níveis do fator B dentro dos fatores A e C, e as médias dos níveis do fator C dentro de A e B.

#### 4.3. Resultados e discussão

#### 4.3.1. Atributos do solo

Na camada de 10-20 cm não foram encontradas quaisquer diferenças entre os tratamentos para as variáveis de solo analisadas, possivelmente pelo revolvimento do solo (nos tratamentos que foi realizado) limitou-se à camada de 00-10 cm. Esse fato, aliado a baixa solubilidade do calcário e à dinâmica de movimentação do P no solo limitaram as diferenças na camada subsuperficial (Gonzales *et al.*, 1979).

As diferenças quanto a pH e teores de P, Ca e Mg limitaram-se à camada de 00-10 cm (tabela 2).

Tabela 2 Resumo da análise de variância para os valores de potencial hidrogeniônico (pH), e teores de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo após aplicação de calcário (CAL) combinado ou não com revolvimento do solo (REV) e aplicação de superfosfato simples (SSP).

Fonte de variação	GL	Quadrados Médio			
		P	Ph	Ca	Mg
CAL	1	1,53 <sup>ns</sup>	0,5*	3,18*	1,05*
Bloco	3	19,53 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
Erro	3	10,00	0,02	0,02	0,03
REV	1	3,78 <sup>ns</sup>	0,18*	3,85*	0,28*
CAL x REV	1	473,28*	0,02 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
Erro	3	6,44	0,00	0,40	0,03
CP	1	0,03 <sup>ns</sup>	0,15*	1,57*	0,00
CAL x SSP	1	157,5*	0,03 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,32*
REV x SSP	1	57,70 <sup>ns</sup>	0,00	0,75 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
CAL x SSP x REV	1	11,28 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Erro	15	19,31	0,01	0,39	0,02
CV 1 (%)	-	13,59	2,96	4,50	24,41
CV 2 (%)	-	10,82	1,74	18,59	22,61
CV 3 (%)	-	18,73	2,14	18,52	19,89
Média Geral	-	23,50	4,90	3,40	0,77

\*Significativo entre si a 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey; ns: Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey.

A aplicação de calcário feita de forma isolada resultou em aumento do valor de pH e teores de Ca e Mg, como era esperado, uma vez que a calagem tem por finalidade diminuir a acidez potencial do solo, elevando o pH, ao passo que aumenta o número de cargas negativas e fornece bases trocáveis, sendo então uma prática que contribui para maiores produtividades das culturas, como soja e milho, em especial nos solos do Cerrado (Oliveira *et al.*, 2015). Para o revolvimento do solo, de forma isolada, ocorreu o mesmo,

sendo significativo para os parâmetros de pH, Ca e Mg, quando realizou a incorporação do calcário, apresentou significancia para o P. A interação entre a calagem e adubação foi signifitiva, muito se discute em relação a indisponibilidade de P quando se faz a aplicação conjunta de adubação fosfatada e calcário, porém, quando realizou a aplicação do calcário, a disponibilidade de P não foi afetada nestas condições.

Na Tabela 3 são apresentadas as variáveis relacionadas aos teores de P no solo (camada 00-10 cm), para a interação dos fatores manejo do solo, calagem e adubação com SSP.

Tabela 3 Teores de fósforo (P) resina ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo, na camada de 00-10 cm, 78 dias após aplicação de calcário, com interação entre a calagem, revolvimento do solo e adubação com superfosfato simples (SSP). Jataí- GO, 2021.

Calcário ( $\text{t ha}^{-1}$ )	C/ VER	S/ REV	SSP	S/SSP	REV + SSP	REV + S/ SSP	S/ REV+ SSP	S/REV + S/SSP	P <sub>resina</sub> ( $\text{mg dm}^{-3}$ )
0	20,50	27,00A	21,50	26,00aA	19,00	22,00	19,50	19,00	
4	27,12aA	19,25b	25,37a	21,00b	31,25aA	23,00B	24,00	30,00aA	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiuscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. REV: revolvimento; SSP: Super Fosfato Simples; S/: Sem; C/: Com.

A calagem aumentou os níveis de P no solo com revolvimento, já quando a aplicação foi apenas superficial os teores de P diminuíram com a aplicação de calcário, provavelmente, pela maior área de contato quando comparado ao que foi feito o revolvimento, fazendo com que a fixação de P e Ca seja maior. Quando não há incorporação do fertilizante, o P tem contato reduzido com os coloides organo-minerais e o íon fosfato, provocando redução das reações de adsorção e o aumento de matéria orgânica da superfície, tendo a mineralização mais lenta e gradual, proporcionando formas orgânicas de P que são menos suscetíveis as reações de adsorção (Lopes *et al.*, 2004). Cassol (1995) expõe que, quando não há incorporação do calcário, o produto diminui o contato na superfície entre as partículas do solo, podendo atrasar os efeitos da calagem e também limitar as ações nas camadas mais superficiais do solo, ocorrendo pela baixa mobilidade dos produtos a reação do calcário.

Em relação a adubação com SSP e a calagem, os tratamentos, que a aplicação da fonte fosfatada foi realizada em conjunto, apresentaram aumento nos níveis de P no solo resaltando então, que em relação a retrogradação do P no solo, neste caso não ocorreu, uma vez que não teve influência negativa na disponibilidade do nutriente. Assim, como Souza *et al.* (1983) com intuito de identificar a relação ao intervalo de aplicação de

calcário e superfosfato simples em diferentes tipos de solo, mostrou que, apenas para um tipo, com o intervalo de 120 dias foi superior a simultânea (calcário+adubação), com diferença de média de 1,4 ppm de P (6,2 ppm contra 7,6 ppm), o que, considerando a fertilidade do solo, não representa diferenças significativas no controle de disponibilidade desse nutriente, em relação as outras médias observadas, não mostram diferenças entre si, não encontrando efeito negativo na aplicação conjunta de calcário e superfosfato triplo, considerando a disponibilidade de P no solo, tampouco sobre a produção de matéria seca e a absorção do nutriente pela cultura estudada, que no caso foi o sorgo. Muito se discute em relação a indisponibilidade de P que pode ser causada pela aplicação conjunta do corretivo e de fontes de P, por isso, deve-se atentar a forma como as aplicações dos produtos feitas e principalmente as condições do solo, como solos ácidos e com altos teores de Ca (Kern & Leite, 2018).

Em relação a interação do manejo de solo e da adubação, não foram encontradas diferenças para os níveis de P no solo em comparação a aplicação de SSP e para os tratamentos com ou sem revolvimento. Nas parcelas em que foram realizadas os três manejo (calagem+revolvimento+adubação), foi o tratamento que mostrou maior nível de P no solo. Quando foi realizado apenas a adubação, não sendo feito a incorporação, a calagem não influenciou no P, mesmo em contato do fertilizante fosfatado e o corretivo. O plantio realizado de forma direta favorece os níveis de P na camada mais superficial do solo, especialmente na camada de 0-10 cm, essa prática libera o P orgânico pela decomposição dos resíduos que permanecem na superfície, também expõe que menores intensidade de fixação desse nutriente é proporcionado por ter menor contato com os constituintes inorgânicos de alta fixação de P, sendo eles, óxidos, oxi-hidroxi e hidróxidos de ferro e alumínio (Sousa & Lobato, 2002).

Com o revolvimento do calcário, uma hipótese para esse incremento pode ser explicado por diminuir os fosfatos de ferro e de alumínio, recorrentes em maiores quantidade com pH mais baixo. Com o aumento do pH, conseqüentemente favorece também maiores cargas negativas que estão na superfícies dos colóides do solo, isso reflete em menor adsorção entre o fosfato e a superfície adsorvente, podendo acarretar em menor capacidade de adsorção do P fazendo com que o nutriente fique disponível no solo (Novais *et al.*, 2007).

Como visto, não havendo adubação, o revolvimento do solo não influenciou nos teores de P, entretanto, quando é realizado adubação, o revolvimento prévio aumenta os teores disponíveis de P. A calagem é um manejo de fundamental importância por otimizar

o uso dos nutrientes pelas plantas que são adicionados por meio da adubação (Ramos *et al.*, 2006). A aplicação de calcário não afetou os teores de P com ou sem adubação de SSP, sabendo que os níveis do nutriente no solo inicialmente podem ser considerado bom (Tabela 1), demonstra que a prática da calagem, associada com a adubação fosfatada, não apresenta prejuízos na eficiência do fertilizante (Tabela 3).

O dreno de P dos solos são superiores a fonte, principalmente pela capacidade de poder tampão do nutriente, gerando alta competição do solo com a planta para absorver o P que foi aplicado via fertilizante (Novais & Smyth, 1999). Alta porcentagem do P que é aplicado é adsorvido, por isso, mesmo a planta não necessitando de altas doses de P, em geral, aplica-se maiores dosagens do nutriente, visto que uma parcela do que é aplicado torna-se indisponível para a planta (Freitas et al, 2009).

A adubação fosfatada depende de uma série de fatores para expressar eficiência no solo, como a dose aplicada, de acordo com sua necessidade, volume do solo e distribuição entre as frações do solo adubadas com P no sistema radicular da planta, considerando essa distribuição no sistema radicular, o volume menor de raízes em um local mais restrito, mesmo havendo P disponível pode não ser necessário para suprir a planta, de acordo com Novais e Smyth (1999).

Na Tabela 4, encontra-se os valores de pH em relação a interação dos fatores analisados, de adubação, revolvimento do solo e aplicação de calcário.

Tabela 4 Valores de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) no solo no solo, na camada de 00-10 cm, 78 dias após aplicação de calcário, com interação entre a calagem, revolvimento do solo e adubação com superfosfato simples (SSP). Jataí – GO, 2021.

Dose de Calcário (t há <sup>-1</sup> )	C/ VER	S/ REV	SSP	S/SSP	REV + SSP	REV + S/ SSP	S/ REV+ SSP	S/REV + S/SSP
	pH ( $\text{CaCl}_2$ )							
0	4,87 <sup>a</sup>	4,67	4,67B	4,87	4,8	4,9	4,55B	4,8
4	5,0aA	4,97a	4,9a	5,1a	5,0a	5,2Aa	4,97a	4,97a

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. REV: revolvimento; SSP: Super Fosfato Simples; S/: Sem; C/: Com.

A disponibilidade de nutrientes nas plantas são influenciadas por diversos fatores, destacando o valor do pH, que, quando apresenta menor que 5,5 é recomendado realizar a correção do solo para que a cultura desenvolva-se melhor. A calagem é muito utilizada para suprir essas necessidades, tendo boa resposta, principalmente quando o solo apresenta muito ácido (Caires *et al.*, 2001).

Em solos com pH alto, ou alcalinos (acima de 6,5) o P pode sofrer processo de reação com o cálcio, retornando a condição de fosfato tricálcico, e assim, tornando indisponível para a planta, esse processo é chamado de retrogradação. Por isso, questiona-se a aplicação do fertilizante junto ou próximo a realização da calagem, essa prática é uma maneira bem provável de indisponibilizar o P e o Ca nas plantas. Se o corretivo for altamente reativo e se for utilizado em dose excessiva, pode elevar o pH junto aos grânulos do fertilizante, levando à indisponibilização do P.

Sample *et al.* (1980), afirmaram que a aplicação de superfosfato triplo, junto com a calagem ou em solos alcalinos podem provocar esse processo de retrogradação, fazendo dos íons fosfatos em solução para formas de fosfatos de cálcio de menor reatividade como o fosfato dicálcico e o fosfato octocálcico. Afirmam também que valores de pH em  $\text{CaCl}_2$ , quando acima de 6,5, ou em água de 7,0-7,3 indicam saturação por bases maior que 90%, e nessas condições ocorre a precipitação do fosfato adicionado reduzindo o aumento dos teores de P extraídos pela resina. Entretanto, observa-se que, diferentemente do exposto, a aplicação do corretivo e da adubação, resultou em maiores disponibilidades nos tratamentos em que se realizou a calagem e a adubação em conjunto.

Em solos brasileiros, tem sido recomendada doses de calcário para atingir valores de pH entre 6,0 e 6,5, e saturação por bases entre 50% e 70%, também teores de Ca e Mg  $> 2,4 \text{ cmol dm}^{-3}$ , respectivamente, sendo considerados ideais para o desenvolvimento da cultura, além de neutralizar Al tóxico até a camada de 0-20 cm (Cantarella *et al.*, 2022). Dentre as variáveis analisadas, no trabalho de Kaseker *et al.* (2022) o pH também apresentou aumento com a aplicação de calcário com diferentes doses e tipos de solo.

As Tabelas 5 e 6 expõem os valores de Ca e Mg, para a interação da calagem, manejo do solo e adubação.

Tabela 5 Valores de Ca ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ) no solo no solo, na camada de 00-10 cm, 78 dias após aplicação de calcário, com interação entre a calagem, revolvimento do solo e adubação com superfosfato simples (SSP). Jataí – GO, 2021.

Dose de Calcário ( $\text{t ha}^{-1}$ )	C/ VER	S/ REV	SSP	S/SSP	REV + SSP	REV + S/ SSP	S/ REV+ SSP	S/REV + S/SSP
0	3,52 <sup>a</sup>	2,65	2,72	3,45A	2,95	4,10 <sup>a</sup>	2,50	2,80
4	3,97 <sup>a</sup>	3,46b	3,64a	3,80	3,80	4,15 <sup>a</sup>	3,48 <sup>a</sup>	3,45a

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. REV: revolvimento; SSP: Super Fosfato Simples; S/: Sem; C/: Com.

Tabela 6 Valores de Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>) no solo, na camada de 00-10 cm, em função do revolvimento do solo e calagem. Jataí – GO, 2021.

Dose de Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	C/ VER	S/ REV	SSP	S/SSP	REV + SSP	REV + S/ SSP	S/ REV+ SSP	S/REV + S/SSP
	Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )							
0	0,68	0,50	0,48	0,70A	0,55	0,80	0,40	0,60
4	1,05aA	0,85a	1,04aA	0,86	1,20a	0,90	0,88 <sup>a</sup>	0,83a

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. REV: revolvimento; SSP: Super Fosfato Simples; S/: Sem; C/: Com.

Para Bellinaso (2019), a aplicação de calcário com incorporação do solo apresentou maior neutralização da acidez nas camadas mais profundas do perfil do solo e também incrementou os teores de Ca e Mg até 25 cm, comparando com a aplicação em superfície. Os níveis de Ca e Mg aumentaram significativamente com o uso de calcário ou apenas com o revolvimento superficial do solo, semelhante a Caires *et al.* (2003) que expõem que o calcário que foi incorporado no solo, apresentou aumento nos teores de Ca e Mg nas camadas mais superficiais (0-5 e 5-10cm), e menor níveis nas camadas mais profundas, tendo o tempo de reação do corretivo.

Em estudo realizado por Carnevali *et al.* (2014), avaliando o efeito de cinco doses de calcário (0, 2, 4, 8 e 16 t ha<sup>-1</sup>) no desenvolvimento inicial da guavira, constataram que o uso da calagem proporcionou aumentos do pH e dos teores de nutrientes em Latossolo Vermelho distroférrico. Dentre estes nutrientes destaca-se o Mg, que diminuiu os valores quando houve aplicação de SSP no ambiente sem calagem, estabelecendo teores muito baixo para este nutriente. Estudos comprovam alguns efeitos positivos da aplicação de calcário incorporado no sistema convencional em resposta de Mg na soja (Raij *et al.*, 1990), alguns resultados positivos nos níveis desse nutriente na superfície do solo realizando o sistema de plantio de direto também são encontrados em outros estudos, realizados por Oliveira & Pavan (1996) e Caires *et al.*(2001).

A movimentação do Ca e Mg no perfil, pela calagem, normalmente é baixa, sendo maior em solos com alta macroporosidade, principalmente dos bioporos originários da renovação do sistema radicular e pela atuação da macrofauna (Gatiboni *et al.*, 2003). A reação da calagem no solo pode ser influenciado por algumas características, como especificações do produto, modo e tempo de aplicação e também condições do solo, como umidade, além de manejo da adubação e rotação de culturas na área (Miyazawa *et al.*, 2002).

A calagem realizada com incorporação na profundidade de 0-40 cm proporcionou efeitos positivos no crescimento da raiz da cultura e produtividade. As altas doses de calcário até na profundidade incorporada melhorou as condições químicas do solo, assim como teores de Ca e Mg, pH do solo e saturação por bases, aumentando significativamente o crescimento radicular da cultura e conseqüentemente seu rendimento. Assim, a incorporação de altas doses do produto pode apresentar melhorias da cultura sob défices hídricos (Moraes *et al.*, 2022).

#### 4.3.2. Produtividade e peso de mil grãos da soja

Na Tabela 7 estão apresentadas peso de mil grãos e a produtividade da soja, de forma em que foram analisadas a interação dos fatores de manejo de solo, aplicação de calcário e adubação fosfatada.

Tabela 7 Resumo da análise de variância para produtividade final (PROD) e peso de mil grãos (PMG) para a cultura da soja, após aplicação de calcário (CAL) combinado ou não com revolvimento do solo (REV) e aplicação de superfosfato simples (SSP). Jataí – GO, 2022.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médio	
		Prod	Pmg
CAL	1	281,08 <sup>ns</sup>	44,46*
Bloco	3	32,42 <sup>ns</sup>	3,63 <sup>ns</sup>
Erro	3	3,17	9,20
REV	1	97,93 <sup>ns</sup>	98,91*
CAL x REV	1	40,50 <sup>ns</sup>	5,04 <sup>ns</sup>
Erro	3	12,94	6,27
CP	1	57,03 <sup>ns</sup>	92,48*
CAL x SSP	1	184,60*	246,20*
REV x SSP	1	128,32*	2,24
CAL x SSP x REV	1	326,0*	54,86
Erro	15	408,02	16,15
CV 1 (%)	-	2,82	2,12
CV 2 (%)	-	5,69	1,75
CV 3 (%)	-	8,25	2,82
Média Geral	-	63,21	142,77

\*Significativo entre si a 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey; ns: Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey;

Foram encontradas produtividades significativas para a interação das três variáveis, nas parcelas com adubação, calagem e incorporação do calcário. Essa significância foi observada também para a interação da aplicação de calcário e adubação,

e também a aplicação de SSP e revolvimento do solo, colaborando com os resultados de solo encontrados, em que a aplicação conjunta do corretivo e do fertilizante, não prejudicaram a produtividade da cultura, e ainda, apresentaram melhores resultados em comparação aos outros tratamentos.

A realização da calagem sozinha já é responsável por um incremento positivos nos atributos das planta. Com a aplicação do calcário o pH do solo aumenta, e o alumínio tóxico é neutralizado e há a adição de cálcio e magnésio, com isso condições favoráveis fazem com que o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes sejam elevados, melhorando a produtividade da cultura (Nora *et al.*, 2013). Pesquisas apontam que a economia que se faz não aplicando o calcário gera muito mais prejuízo no final da produção de grãos, pois a produtividade diminui em grande quantidade. Como visto no trabalho realizado por Guimarães (2019), as cultivares apresentaram maior produtividade, quando se usou a dose de calcário em comparação com a testemunha, corroborando com a recomendação da utilização da calagem na soja.

Na Tabela 8 podem observar a produtividade média da planta, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , sendo analisadas 78 dias, após a aplicação do calcário e também da adubação com SSP, visando o maior pico de absorção do P vindo da adubação.

Tabela 8 Produtividade média ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de grãos, com interação entre a calagem, revolvimento do solo e adubação com superfosfato simples (SSP). Jataí – GO, 2022.

Dose de Calcário ( $\text{t há}^{-1}$ )	C/ REV	S/ REV	SSP	S/SSP	REV + SSP	REV + S/ SSP	S/ REV+ SSP	S/REV + S/SSP
	Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ )							
0	3.787	3.443	3.391B	3.839	3.875	3.700	2.906B	3.978
4	4.008aA	3.933a	4.035aA	3.907a	4.001aA	4.015 <sup>a</sup>	4.069aA	3.798

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. REV: revolvimento; SSP: Super Fosfato Simples; S/: Sem; C/: Com.

Em relação a interação dos fatores analisados de adubação, calagem e manejo do solo foram encontradas diferenças significativas na interação da dose de calcário com a adubação fosfatada, indo contra alguns estudos que apontam não utilizar as duas técnicas juntos, por causa da retrogradação de P que pode ocorrer no solo. Visando a produtividade da soja, o ambiente de estudo propos que um manejo pode substituir o outro, caso haja a opção por fazer calagem, não havendo necessidade de incorporação e em situações que tenha sido realizado o manejo de revolver o solo, não há necessidade de realizar a calagem com o intuito de incrementar a produtividade da cultura.

A calagem incrementou a produtividade da soja associada a adubação com P e o SSP sem calagem apresentou limitação na produtividade da planta. Alguns estudos demonstrando a interação entre calcário e fósforo e a eficiência que provoca o aumento com o uso de uns dos insumos já foram realizados no país em solos argilosos (Vidor & Freire, 1972; Ben & Dechen, 1996; Pottker & Ben, 1998; Freitas *et al.*, 1999; Nolla, 2006).

Essa interação ocorre porque a calagem, inativa parte do  $Al^{+3}$  por causa do aumento de pH (Salet, 1998; Novais & Smyth, 1999), propiciando a diminuição na retenção de fósforo, e aumentando sua disponibilidade em solução (Ernani *et al.*, 1996). O grau de substituição entre o calcário e o fósforo (Vidor & Freire 1972; Ben & Dechen, 1996), com interação positiva nas doses mais baixas (Nolla & Anghinoni, 2006), pode também ser importante para explicar a menor resposta das culturas à adição de calcário em sistema não convencional. O resultado observado no solo e na planta, também levanta a hipótese que o uso de SSP dependendo da dose, pode ser prejudicial em ambientes com baixo nível de Mg e sem a intenção de realizar a calagem ou fornecimento deste nutriente via adubação.

#### 4.3.3. Conclusão

No curto prazo (~3 meses), o efeito da calagem, aplicação de SSP e revolvimento do solo (00-10 cm) limita-se à camada superficial do solo, não havendo qualquer alteração abaixo de 10 cm.

A aplicação de calcário (em superfície ou incorporado na cama de 00-10 cm do solo) resulta em aumento da produtividade da soja, independente da aplicação conjunta ou não de superfosfato simples, mesmo em curto prazo a aplicação de calcário também aumenta o pH e o teor de Mg na camada de 00-10 cm do solo. Já o teor de Ca nessa camada é mais afetado pela aplicação de SSP do que calcário ( $4 \text{ tn ha}^{-1}$ , 30% de CaO), sendo que aumentou quando foram aplicados  $115 \text{ kg ha}^{-1}$  de SSP na adubação da soja.

Quando não há fornecimento de P, o revolvimento do solo (00-10 cm) pode resultar em aumento da produtividade da soja cultivada na sequência. Com o fornecimento de P na forma de SSP, no entanto, o revolvimento não teve efeito.

#### 4.3.4. Agradecimentos

A FAPEG, pela concessão de bolsa de mestrado, à TERRAM pelo suporte na condução do experimento, e ao IF Goiano – Campus Rio Verde pela viabilização da pesquisa.

#### Referências Bibliográficas

Araújo LMB, Andrade AC, Rodrigues BHN, Santos FJS, Magalhães JA, Rodrigues RC & Oliveira IVL (2019). Produtividade do capim mombaça sob diferentes idades de rebrotação no norte do Piauí. *Nucleus*, 16(1):233-244.

Banzatto DA, Kronka SD (2013). *Experimentação agrícola*. 4th ed. Jaboticabal, SP: Funep.

Bellinaso RJS (2019) Formas de aplicação de fósforo sob calagem incorporada e superficial: efeito na acidez, disponibilidade de nutrientes e resposta de culturas. 2019. Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo - RS, 99p.

Ben JR & Dechen AR (1996) Comportamento de genótipos de trigo em relação a fósforo no solo. *Ciência do Solo*, 20:77-82.

Caires EF, Blum J, Barth G, Garbuió EJ & Kusman MT (2003) Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do Sistema de plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 27: 275-286, 2003.

Caires EF, Fonseca AF, Feldhaus IC & Blum J (2001) Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. *Ciência do Solo*, 25: 1029-1040.

Cantarella H, Quaggio JÁ, Junior Mattos D, Boaretto RM, Van Raij B & Furlani AMC (2022). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. *Boletim 100: Campinas, SP*.

Carnevali TO, Vieira MC, Carnevali NHS, Coelho DVBSA, Torales EP & Zárata HNA (2014) Correção do solo para o desenvolvimento inicial de *Campomanesia adamantium* (Cambess). *Cadernos de Agroecologia*, 9:1-10.

Cassol LC (1995) Características físicas e químicas do solo e rendimento de cultura após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo. *Doctoral Thesis*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 97p.

Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2021/2022. 2023. Disponível em: Acesso em: 25 de janeiro, 2023.

Costa KCG, Torres, FE, Kraeski MJ, Zanuncio AS & Benteo GL. Fosfatagem e Calagem no desenvolvimento do capim Mombaça (2021). *Research, Society and Development*, 10: (1-14).

Ernani PR, Figueiredo ORA, Becegato V & Almeida JA (1996) Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. *Ciência do Solo*, 20:159-162.

Freitas JG, Cantarella H & Camargo CEO (2009) Efeito do calcário e do fósforo na produtividade de grãos e seus componentes nos cultivares de trigo. 58: 1- 8.

Gatiboni LC, Saggin A, Brunetto G, Horn, D, Flores, JPC, Rheinheimer DS & Kaminski J (2003) Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. *Ciência Rural*, 33:283-290.

Gonzales EE, Kamprath EJ, Nadermann GC, Soares WV (1979). Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Science Society. Am. J.* 43:1155-1158.

Guimarães LFA (2019) Efeito da calagem na produtividade da soja em plantio direto. Master Dissertation. Uni Anhanguera. 32p.

Kaseker JF, Ernani PR, Almeida JA, Gerber JM & Rosa EFF (2022) Distribuição das formas de potássio no solo em decorrência da aplicação de calcário. *Ciências Agroveterinárias*, 21:35-46.

Kern HS & Leite RMVBX (2018) Resposta de cultivares de soja a diferentes níveis de acidez do solo. In: XII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, Londrina, Embrapa. p.71-74.

Kliemann, HJ (1995). Efeitos da calagem e de fontes de fósforo no rendimento da soja em dois solos de Cerrado. *Anais Escola de Agronomia e Veterinária*, 25 (2): 129-139.

Lopes AS, Wietholter S, Guilherme LR & Silva CA (2004) Sistema de Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA.

Miyazawa M, Pavan MA & Franchini, JC (2002) Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. *Biol. Technol*, 45:251-256, 2002.

Moraes FA, Moreira SG, Peixoto DS, Silva JCR, Macedo JR, Silva MM, Silva BM, Sanchez PA & Nunes MR (2022). Lime incorporation up to 40 cm deep increases root growth and crop yield in highly weathered tropical soils. *European Journal of Agronomy*, 144:1-14.

Nolla A & Anghinoni I (2006) Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. *Ciência do Solo*, 30:475-483.

Nora DD, Amado TJC, Girardello VC & Mertins C (2013) Gesso: alternativa para redistribuir verticalmente nutrientes no perfil do solo sob sistema plantio direto. *Revista Plantio Direto*, 133:8-20.

Novais RF & Smyth TJ (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV/DPS, p.399.

Novais RF, Smyth TJ, Nunes FN (2007) Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.471-537.

Oliveira EL & Pavan MA (1996) Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil & Tillage Research*, 38:47-57.

Oliveira CMB, Gatiboni LC, Ernani PR, Bott G & Brunetto, G (2015). Capacidade de predição da disponibilidade de fósforo em solo com aplicação de fosfato solúvel e natural. *Científica*, p. 413–419.

Pottker D & Ben JR (1998) Calagem em solos sob plantio direto e em campos nativos do Rio Grande do Sul. *Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto*. Lages, 77-92.

Raij B & Quaggio JÁ (1990) Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21:1267-1276.

Ramos LA, Nolla A, Korndorfer GH, Pereira HS & Camargo MS (2006) Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. *Ciência do Solo*, 30:849-857.

Roy ED, Richards PD, Martinelli LA, Coletta LD, Lins SRM, Vazquez FF, Wilig E, Spera SA, VanWey LK & Porder S (2016) The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. *Nature plants*, 2:1-6.

Salet RL (1998) Toxidez de alumínio no sistema plantio direto. Doctoral Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 109p.

Sample EC, Sope RJ, Racz GJ (1980). Reactions of Phosphate in Soils. The role of Phosphorus in Agriculture, 11:263-310

Sousa DMG & Lobato E (2002) Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados.

Souza LF, Fernandes MS, Velloso ACX & CASTRO AF (1983) Calagem e adubação fosfatada em alguns solos sob cerrado. I. Produção de matéria seca e fósforo absorvido pelo sorgo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 18:715-20.

Vidor C & Freira JRJ (1972) Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a fixação simbiótica do nitrogênio na soja. *Agronomia Sul Riograndense*, 8:181-190.

Vieira S (1999) Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. 7º tiragem. Rio de Janeiro: Elsevier.