

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS**

**PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DE SOJA E MILHO E ALTERAÇÕES DOS  
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DO GESSO  
AGRÍCOLA NO PARAGUAI**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2018**

**DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS**

**PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DE SOJA E MILHO E ALTERAÇÕES DOS  
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DO GESSO  
AGRICOLA NO PARAGUAI**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Dra. Maria do Carmo Lana

Coorientador: Dr. Jimmy W. Rasche Alvarez

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

F659p

Fois, Diego Augusto Fatecha

Produtividade das culturas de soja e milho e alterações dos atributos químicos do solo em função da aplicação do gesso agrícola no Paraguai. / Diego Augusto Fatecha Fois. – Marechal Cândido Rondon, 2018.

138 f.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Lana

Coorientador: Prof. Dr. Jimmy Walter Rasche Alvarez

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2018

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

1. Solos - Análise. 2. Soja. 3. Milho. I. Lana, Maria do Carmo. II. Rasche Alvarez, Jimmy Walter. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 20.ed. 631.4

CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio – CRB 9<sup>a</sup>/965



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



**PARANÁ**  
GOVERNO DO ESTADO

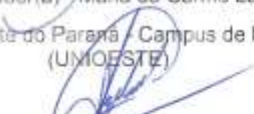
## DIEGO AUGUSTO FATECHA FOIS

Produtividade das culturas de soja e milho e alterações dos atributos químicos do solo em função da aplicação do gesso agrícola no Paraguai.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

  
Orientador(a) - Maria do Carmo Lana

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon  
(UNIOESTE)

  
Jimmy Walter Rasche Alvarez

Universidade Nacional de Asunción (UNA)

  
Leopoldo Rampim

Universidade Estadual do Centro-Oeste - Campus de Guarapuava (UNICENTRO)

  
Manoel Fernando Frandoloso

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon  
(UNIOESTE)

  
Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon  
(UNIOESTE)

Marechal Cândido Rondon, 23 de fevereiro de 2018

A meus pais Augusto Fatecha Acosta e Teresita Fois Del Castillo (+), a vocês, que me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade, pelo apoio e dedicação e que por sempre acreditarem que eu pudesse chegar até aqui e realizar um sonho.

A minha esposa, amiga e companheira, Dahiana Maria Ovejero Maldonado, pelo apoio, compreensão e sob tudo pela paciência pelas muitas horas que fiquei longe de casa.

A minha adorada filha Vania Fiorella Fatecha Ovejero, de todas as bênçãos que Deus me proporcionou, ela é a melhor e maior de todas elas.

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus e a Virgem de Caacupé, pela fortaleza para enfrentar os problemas, pela presença em todas as horas e por guiar meus passos e abençoar e iluminar em todos os momentos de minha vida e permitir a realização de mais um sonho.

À Universidade Estadual do Oeste de Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon – PR, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela possibilidade da realização do curso de Doutorado.

À Universidade Nacional de Asunción, ao Reitor Abel Bernal, à Faculdade de Ciências Agrárias, ao ex Decano Lorenzo Meza e ao atual Luis Maldonado, e aos colegas e amigos do Departamento de Solos e Ordenamento Territorial.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa PEC-PG (Programa Convênio Estrangeiros - Brasil), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores orientadores Maria do Carmo Lana e Jimmy Walter Rasche Alvarez em especial, pela dedicação na orientação e ensinamentos, companheirismo, estímulo e mão amiga.

Agradeço à Jucenei Fernando Frandoloso, técnico do Laboratório de Fertilidade e Nutrição Mineral de Plantas da UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon – PR, pela paciência e auxílio prestimoso na realização das análises químicas, pela amizade, ensinamentos e pelas horas de confraternização.

Ao professor Tales Tiecher da UFRGS- Porto Alegre - RS, pela ajuda, experiência, ensinamentos e conselhos repassados na etapa final deste trabalho.

Agradeço aos professores do PPGA- UNIOESTE, em especial a José Barbosa Duarte Júnior, Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, Vandeir Guimarães e Edmar Soares Vasconcelos, pela amizade e instrução, e sobretudo, pelo exemplo de trabalho profissional.

Agradeço ao Centro R&D Sudamérica Timac Agro, Paraguai, em nome do Cesar Hoshiba e André Zabinni, em especial aos técnicos do laboratório, Claudia Fernandez, Gabriela Romero e Audrei Barancelli.

Agradeço à equipe do Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon – PR, pela paciência e auxílio na realização das análises químicas.

Aos Professores da FCA- UNA, Carlos Leguizamón, Alba González, Laura Soilán e Claudia Cabral, pelo apoio incansável, horas de trabalho e incentivo constante durante as viagens e avaliações no campo.

Agradeço aos alunos de graduação da FCA-UNA, principalmente a Laura Raquel Quiñónez Vera, pelas viagens e largas horas de trabalho no campo e laboratório, assim como a Belén Gimenez Leguizamón e Verónica Gómez.

Aos professores Ulises Ríveros e Fanny Ruiz, da Área de Estatística pelo auxílio e ajuda na realização do análises estatísticas e a Soledad Armoa da Área de Meteorologia da FCA-UNA, pelos gráficos deste trabalho.

Ao Laboratório de Sementes da FCA-UNA, aos Professores Líder Ayala, Jessica Bareiro e Yesmina Lezcano, pela ajuda e auxílio na limpeza, classificação e pesagem de grãos.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNIOESTE, Jessica Coppo, Tatiane Ohland, Bruna Rissato, Eloisa Lorenzetti e Marcelo Greco pelo apoio e ajuda inestimável em todas as horas.

Dou graças à Família Rasche Alvarez, do município de San Alberto, Paraguai, ao senhor Egon e senhora Mary, meu agradecimento com vocês será infinito pela hospedagem, alimentação, horas de confraternização e bons momentos compartilhados na vida, muito importante na realização deste trabalho, que sem eles não teria sido possível.

A meus colegas e amigos Cesar Hoshiba e Milciades Melgarejo pela amizade, churrascos e ajuda constante em tudo.

**“A PACIÊNCIA É AMARGA, MAS SEUS FRUTOS SÃO DOCES”**

**J.J. ROSSEAU**



## BIOGRAFIA

Diego Augusto Fatecha Fois, nascido em 11 de outubro de 1978, em Assunção, capital do Paraguai, filho de Augusto Fatecha Acosta e Teresita Fois del Castillo. Ingressou no curso de Agronomia da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Nacional de Assunção (FCA- UNA), campus de São Lourenço, Paraguai, em julho de 1998, onde graduou-se em abril de 2004. No período de 2005 a 2007 trabalhou como técnico especialista no Ministério de Agricultura, no Instituto Agrônômico Nacional no setor Solos e Nutrição de Plantas em Paraguai. Em março de 2008 ingressou no Mestrado, no curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Brasil, concluindo o Mestrado em fevereiro de 2010. Em março de 2010 ingressou como Professor Pesquisador da FCA-UNA, na Área de Solos e Ordenamento Territorial. Em março de 2015 ingressou no Doutorado no Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste de Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon.

## RESUMO

FATECHA, Diego, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro – 2018. **Produtividade das culturas de soja e milho e alterações dos atributos químicos do solo em função da aplicação do gesso agrícola no Paraguai.** Orientadora: Maria do Carmo Lana. Coorientador: Jimmy Walter Rasche Alvarez.

O gesso agrícola é fonte de Ca e S e pode trazer melhorias nos atributos químicos do solo, com potencial para aumentar a produtividade das culturas de soja e milho. Este trabalho objetivou avaliar a produtividade das culturas de soja e milho e as alterações dos atributos químicos do solo em função da aplicação do gesso agrícola no Paraguai. O experimento foi conduzido nos municípios de Itakyry (Argissolo) e Minga Porá (Latossolo), Paraguai, usando delineamento blocos ao acaso, com doses de gesso agrícola (0, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco repetições totalizando 30 parcelas. Em Minga Porá em junho de 2014 aplicou-se calcário dolomítico na dose de 2.500 kg ha<sup>-1</sup>. Aplicou-se gesso em setembro de 2014 e foram avaliadas duas safras de soja (2014/2015 e 2015/2016), duas safras de milho safrinha (2015 e 2016) e uma de soja safrinha (2015). Em Minga Porá em setembro de 2015 em metade das parcelas foram reaplicadas as doses de gesso, utilizando delineamento em parcelas subdivididas em faixas em blocos ao acaso com cinco repetições e dois fatores (doses e aplicações), totalizando 60 parcelas. Para cada safra foram coletadas amostras de grãos e na safra 2015/2016 foram coletadas amostras de tecido foliar para determinação dos teores de Ca, Mg, S, P e K. Na cultura da soja foram avaliadas massa de mil grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagens e produtividade de grãos. Na cultura de milho, altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de espigas, comprimento da espiga, número de fileira de grãos por espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm para análise de pH CaCl<sub>2</sub>, pH SMP, Al<sup>+3</sup>, Al+H, disponibilidade de Ca, Mg, S, P e K, CTC<sub>pH7</sub>, saturação por bases e saturação por Al<sup>+3</sup>. Os componentes de produtividade e teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos de soja e milho safrinha não foram influenciados pela gessagem, mais houve aumento máximo de 4,71 g kg<sup>-1</sup> no teor de Ca no grão até 750 kg ha<sup>-1</sup> de gesso. Os teores foliares de Ca, Mg, S, P e K na soja não aumentaram. No milho os teores foliares de Ca e S foram incrementados e o teor de Mg diminuiu. Os teores críticos de S, Ca, Mg e K disponível, saturação por bases e saturação por Al no solo das camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm não se correlacionam com os rendimentos relativos da soja e milho safrinha no Latossolo e Argissolo. A aplicação de gesso não influenciou o pH CaCl<sub>2</sub>, H+Al,

disponibilidade de P e Al, saturação por bases e por Al. O teor de Ca aumentou linearmente no Argissolo na camada 0–10 cm, enquanto o teor de Mg diminuí linearmente no Argissolo e a partir de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> no Latossolo. Os teores de S aumentaram linearmente nas três camadas e houve mobilidade de K até 40 cm tanto no Argissolo e Latossolo.

**Palavras chave:** Gessagem, *Glycine max* L., *Zea mays* L., Rendimento de grãos.

## ABSTRACT

FATECHA FOIS, Diego Augusto, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, in February – 2018. **Productivity of soybean and corn crops and chemical soil attributes changes depending on the application of agricultural gypsum in Paraguai.** Advisor: Maria do Carmo Lana. Co-Advisor: Jimmy Walter Rasche Alvarez.

The cast is an agricultural source of Ca and S and brings improvements in chemical attributes, that acting produces a potential to increase yields of soybeans and maize. This work aimed to evaluate a productivity of soybean and corn crops and chemical soil attributes changes depending on the application of gypsum in Paraguai. The experiment took place in the district of Itakyry (Argissolo) and Minga Porá (Latosolo), Paraguai, using randomized blocks design with doses of gypsum (0, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>) and five repetitions a total of 30 parcels. In Minga Porá in June 2014 dolomitic limestone was applied at a dose of 2500 kg ha<sup>-1</sup>. Gypsum was applied in september 2014 and evaluated two harvests of soybeans (2014/2015 and 2015/2016) two crops of corn crops second (2015 and 2016) and one soybean second (2015). In Minga Porá in september 2015 were reapplied gypsum doses, using factorial arrangement to subdivide parcels banded in blocks with two factors (doses and applications) and five repetitions a total of 60 parcels. For each crop and grain samples were collected in 2015/2016 foliar tissue samples were collected for determination of the levels of Ca, Mg, S, P and K. The soybeans were evaluated thousand grain mass, number of pods per plant, number of grains per plant, number of grains per pods and grain productivity. In maize, plant height, height of insertion of the spike, culm diameter, number of spikes, spike length, number of row of grains per spike, thousand grain and grain yield. Soil samples were collected in layers in 0–10, 10–20 e 20–40 cm for analysis of pH CaCl<sub>2</sub>, pH SMP, Al<sup>+3</sup>, Al+H, availability of Ca, Mg, S, P e K, CTC<sub>pH7</sub>, bases saturation and Al<sup>+3</sup>. The components of productivity and levels of Ca, Mg, S, P, and K in soybeans and second corn were not influenced by gypsum, plus increased maximum of 4,71 g kg<sup>-1</sup> in the Ca content in grain until 750 kg ha<sup>-1</sup>. The foliar contents of Ca, Mg, S, P, and K in soybeans have not increased. Maize leaf levels of Ca and S were increased and the concentration of Mg decreases. Critical levels of S, Ca, Mg and K available, bases saturation and Al saturation in the soil layer 0–10, 10–20 e 20–40 cm do not correlate with the relative yields of soybeans and corn in the off-season and Argissolo and Latosolo. The application of gypsum not influence the pH, CaCl<sub>2</sub> H+Al, availability of P and Al, bases saturation and Al saturation, the content of Ca increased linearly in the Argissolo 0–10 cm layer, the Mg content decrease linearly in the Argissolo and

from 1.000 kg ha<sup>-1</sup> in Latossolo, S levels increased linearly in three layers and there were 40 cm, K until mobility both in Latossolo and Argissolo.

**Keywords:** Plastering, *Glycine max* L., *Zea mays* L., Grain yield

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERÊNCIAS.....	5
3 ARTIGO 1: ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO E UM LATOSSOLO COM APLICAÇÃO DE GESSO MANEJADO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.....	9
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUÇÃO.....	10
MATERIAL E MÉTODOS.....	12
Descrição dos locais de estudo.....	12
Desenho experimental.....	15
Amostragem e análise de solo.....	16
Análises estatísticas.....	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS.....	29
4 ARTIGO 2: RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA A APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.....	34
RESUMO.....	34
ABSTRACT.....	35
INTRODUÇÃO.....	35
MATERIAL E MÉTODOS.....	37

Descrição dos locais de estudo.....	37
Delineamento e desenho experimental e manejo da cultura da soja.....	41
Avaliações.....	42
Análises estadísticas.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
Componentes de produtividade de grãos.....	43
Teor de nutrientes no tecido foliar e grão.....	46
Relação de produtividade com parâmetros químicos do solo.....	48
CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	53
<b>5 ARTIGO 3: RESPOSTA DO MILHO SAFRINHA A APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.....</b>	<b>57</b>
RESUMO.....	57
ABSTRACT.....	57
INTRODUÇÃO.....	58
MATERIAL E MÉTODOS.....	59
Descrição do local de estudo.....	59
Delineamento e desenho experimental e manejo da cultura da milho safrinha.....	62
Avaliações.....	63
Análises estatísticas.....	64
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
Componentes de produtividade de grãos.....	64
Teores de nutrientes no tecido foliar e grão.....	67

Relação de produtividade com parâmetros químicos do solo.....	70
CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS.....	74
<b>6 ARTIGO 4: ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO PELA REAPLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA NUM LATOSSOLO MANEJADO SOB PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI.....</b>	<b>78</b>
RESUMO.....	78
ABSTRACT.....	78
RESUMEN.....	79
INTRODUÇÃO.....	80
MATERIAL E MÉTODOS.....	82
Descrição do local de estudo.....	82
Desenho experimental.....	84
Amostragem e análise de solo.....	84
Análises estatísticas.....	85
RESULTADOS.....	85
CONCLUSÕES.....	90
REFERÊNCIAS.....	91
<b>7 ARTIGO 5 EFEITO DE DOSES E REAPLICAÇÃO DE GESSO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NUMA SUCESSÃO SOJA-MILHO NUM LATOSSOLO DO PARAGUAI.....</b>	<b>95</b>
RESUMO.....	95
ABSTRACT.....	96
INTRODUÇÃO.....	96



MATERIAL E MÉTODOS.....	99
Descrição do local de estudo.....	99
Desenho experimental e manejo das culturas.....	101
Avaliações.....	102
Componentes de produtividade de grãos.....	102
Teores de nutrientes no tecido foliar e grãos.....	102
Relação de produtividade com atributos químicos do solo.....	103
Análises estadísticas.....	104
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	104
Componentes de produtividade de grãos na soja e milho safrinha.....	104
Teor de nutrientes no tecido foliar.....	107
Teores de nutrientes nos grãos.....	109
Relação de produtividade com atributos químicos do solo.....	111
CONCLUSÕES.....	116
REFERENCIAS.....	117
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo de grãos no Paraguai é desenvolvido principalmente na Região Oriental, sob solos de ordens Ultisol e Oxisol (LÓPEZ et al., 1995) com características taxonômicas equivalentes ao Argissolo e Latossolo, respectivamente, no sistema brasileiro de classificação (EMBRAPA, 2014). A fertilidade do solo é classificada como médio a baixo (FATECHA, 2004; ARCE, 2017), com predomínio de teores de matéria orgânica (MO), fósforo (P) e potássio (K) inferiores a  $10 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $12 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $0,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente (MARTINEZ, 2011; JORGEE, 2012; FULLAONDO, 2014). Predominam solos com  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  inferior a 5,5; com teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) abaixo de  $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ,  $0,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $10 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente (BATAGLIA, 2011; HANH e FIORETTO, 2017). A adoção ao plantio direto (PD) tem aumentado exponencialmente desde o início da década de 1990, alcançando área superior a 3,5 milhões de hectares, segundo estimativas recentes (CAPECO, 2017), tendo a soja como a cultura principal, e o milho e trigo em menores escalas.

O PD preconiza o não revolvimento do solo e a manutenção de resíduos culturais na superfície, acumulando MO e melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. A aplicação de calagem é realizada na superfície do solo sem incorporação, porém devido à baixa solubilidade e mobilidade vertical do corretivo no solo, a ação se restringe aos primeiros centímetros do perfil geralmente (CAIRES et al., 2004; RAMPIM et al., 2011), corrigindo o pH do solo formando uma camada mais fértil em superfície, podendo o subsolo continuar ácido, com presença de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e baixos níveis de bases trocáveis, que podem causar restrição ao crescimento radicular e, conseqüentemente, redução da absorção de água, nutrientes e produtividade das culturas (DALLA NORA e AMADO, 2013; ZANDONÁ et al., 2015).

A aplicação superficial de gesso agrícola, constitui-se numa opção para resolver esse problema a curto prazo (ERNANI et al., 2001), compensando a limitação que pode apresentar o calcário em superfície. O gesso agrícola é um subproduto da indústria de adubos fosfatados que contém principalmente sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e pequenas concentrações de P (SÁVIO et al., 2011). Atua sobre fatores que impedem ou dificultam o desenvolvimento radicular das plantas, o excesso de Al (OLIVEIRA et al., 2009) e deficiência de Ca (CAIRES et al., 2004). O interesse pelo uso do gesso em PD é decorrente da sua maior solubilidade, movimenta-se ao longo do perfil sob a influência da percolação da água, aumentando o suprimento de Ca e redução da toxidez de Al. O íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) promove o carreamento

de cátions, como Mg e K das camadas superficiais do solo, para horizontes subsuperficiais formando pares iônicos neutros ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) melhorando a fertilidade do solo e nutrição mineral das espécies vegetais (SALDANHA et al. 2007). A melhoria nos atributos químicos do solo tem sido demonstrada por vários trabalhos (SORATO e CRUSCIOL, 2008; SOUSA et al., 2012; SERAFIN et al. 2012; NOIA et al., 2014; VICENSI et al., 2016).

Além disso, pode promover benefícios nos atributos físicos, reduz a dispersão da argila pelo efeito flocculante, já conhecido em solos sódicos, mas também revelado em solos ácidos, melhora a agregação e estabilidade de agregados, reduzindo o encrostamento superficial e promove aumento de bioporos e infiltração de água, devido ao maior crescimento radicular de plantas (ZOCA e PENN, 2017). Como é constatado, o gesso agrícola traz série de melhorias em vários atributos químicos e físicos do solo, que atuando conjuntamente produz um grande potencial para o aumento da produtividade das culturas.

A aplicação de gesso deve basear-se em critérios técnicos de acordo com o tipo de solo, doses, cultura e regime de precipitação. O gesso em função do tipo de solo pode apresentar distintos comportamentos. Em regiões áridas pode formar parte de minerais primários como sulfato de alumínio [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ] e sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) (DELFOSSÉ et al., 2005); em solos interperizados com abundância de argila tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al, são adsorvidos na camada superficial (RHEINHEIMER et al., 2007); em solos arenosos o  $\text{SO}_4^{2-}$  é lixiviado a maiores profundidades (POZZA et al., 2009).

Para solos tropicais em PD no Brasil existem critérios estabelecidos na determinação da dose do insumo a ser aplicado no solo. Rajj (2007) e CFSEMG (1999) para solos do estado de São Paulo e Minas Gerais respectivamente, consideram os teores de Ca, Mg e Al, com amostragens pelo menos até 40 cm em culturas anuais, com recomendação de gesso quando a saturação por Al for superior a 30% e ou teor de Ca for menor a  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e ou  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Al nas camadas subsuperficiais. Entretanto, Sousa et al. (2005) para solos do Cerrado recomendam gessagem para culturas anuais em função da classificação textural do solo,  $<150 \text{ g kg}^{-1}$  de argila ( $700 \text{ kg ha}^{-1}$ );  $>150\text{-}350 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $1200 \text{ kg ha}^{-1}$ );  $>350\text{-}600$  ( $2200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e  $>600 \text{ g ka}^{-1}$  de argila ( $3200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) ou multiplicando um fator de correção, transformando em dose de gesso em  $\text{kg ha}^{-1}$ , mediante a fórmula:  $50 \times \text{teor de argila (\%)}$ . No Paraná, os mesmos critérios foram adotados recentemente pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Estadual Paraná da (SBCS/NEPAR, 2017). Enquanto isso, nos estados do RS e SC, apesar da ampla difusão do uso do gesso agrícola pelos agricultores, ainda não existe uma recomendação oficial dos critérios para sua utilização (CQFS-RS/SC, 2016).

No solo se observam frequentemente problemas com a aplicação de gesso, principalmente quando são utilizadas altas doses e quando é aplicado de forma isolada, relacionada à intensa movimentação de bases trocáveis. Além da movimentação de Ca em profundidade, o gesso ocasiona migração de Mg e K (RAMPIN et al., 2011), que podem resultar em efeitos indesejados. A movimentação de Mg e K pode ser muito intensa, mesmo em combinação com calcário, dependendo do tipo de solo e sistema de manejo (CAIRES et al., 2001). Em PD, no entanto, constatam-se que as perdas de K são relativamente pequenas (CAIRES et al., 2004; RAMPIN et al., 2011). Silva (2010) relata que a lixiviação do K diminui devido à fixação do K e adsorção deste na CTC, mecanismos altamente eficientes no armazenamento.

O uso do gesso iniciou-se mediante resultados obtidos por Vitti e Malavolta (1985) que notaram efeitos positivos da utilização de 100 a 300 kg ha<sup>-1</sup> em várias culturas. Mascarenhas et al. (1986) faziam referência que utilizando gesso pode-se aumentar a produtividade da cultura da soja pelo fornecimento de S. Porém, com o transcorrer dos anos, alguns autores (CAIRES et al., 1998; 1999; 2004; 2006; 2011) ressaltaram que as condições não estão bem definidas para poder esperar efeitos favoráveis da aplicação de gesso na produção de culturas de grãos, não existindo uma recomendação precisa de doses a serem utilizadas, se devem ser associadas ou não com calcário, e aplicado em superfície ou mesmo incorporado ao solo.

Entre as principais culturas leguminosas como soja e feijão não tem sido observado efeitos significativos na produção à aplicação do gesso (CAIRES et al., 2003; 2006; 2011; NOGUEIRA e MELO, 2003; CICORE et al., 2005; CHERUBIN et al. 2010; NEIS et al., 2010; PAULETTI et al., 2014). Existem autores que indicam efeito benéfico do gesso nos teores foliares, com aumento nas concentrações de S (GELAIN et al., 2011). Moda et al. (2013) observaram efeito positivo no estado nutricional da soja aumentando teores de K, Ca e S na planta e no teor de óleo no grão, sem influenciar a produtividade de grãos. Entretanto, Pauletti et al. (2014) ressaltam que aplicando doses altas de gesso não garantem aumentar teores foliares de P, K e S. Porém, as gramíneas como trigo, cevada e milho são mais responsivas comparadas com leguminosas (CAIRES et al., 2004; SORATO et al., 2008; SORATO et al., 2010; RAMPIM et al., 2011, ZANDONÁ et al. 2015, VICENSI et al. 2016) com aumento no rendimento em função da gessagem.

Embora já se tenha muitos resultados de pesquisa com uso de gesso no Brasil, no Paraguai ainda há pouca informação específica sobre uso de gesso na agricultura, sendo uma prática altamente difundida entre produtores locais, não existindo critérios estabelecidos para

cálculo de doses a utilizar. Neste contexto, o país apresenta uma história agrícola recente, com carência de conhecimentos científicos referente ao manejo da fertilidade do solo. Fatecha A. (1999) elaborou uma recomendação de adubação para algumas culturas anuais e perenes mediante calibrações de N-P-K realizadas no sistema convencional, posteriormente Cubilla et al. (2012) realizaram pesquisas sobre recomendação de adubação para as principais culturas de grãos no SPD, mas ainda é escassa a informação gerada, baseada somente em N-P-K, não possuindo nenhum estudo para outros nutrientes.

A partir do exposto foi realizado este experimento em dois solos da região Oriental do Paraguai e teve como hipóteses de que haveriam respostas distintas à gessagem das culturas de soja e milho em sucessão no PD, e provocaria alterações no perfil do solo em alguns atributos químicos do solo. Para avaliar essa hipótese a tese teve foi dividida em cinco artigos com diferentes objetivos.

O artigo I intitulado “Atributos químicos de um Argissolo e um Latossolo com aplicação de gesso manejado sob sistema plantio direto no Paraguai” teve como objetivo: avaliar o efeito da aplicação de doses de gesso em atributos químicos do solo sob plantio direto num Argissolo e Latossolo no Paraguai, segundo as normas da revista *Bragantia* do Instituto Agronômico de Campinas.

O artigo II intitulado “Resposta da soja a aplicação de gesso agrícola em sistema plantio direto no Paraguai” teve como objetivo: avaliar os efeitos da gessagem na cultura da soja em plantio direto em um Argissolo e um Latossolo de Alto Paraná, Paraguai, segundo as normas da revista *Ceres* da Universidade Federal de Viçosa.

O artigo III intitulado “Resposta do milho safrinha a aplicação de gesso agrícola sob sistema plantio direto no Paraguai” teve como objetivo: avaliar a resposta da cultura do milho safrinha à aplicação de gesso em sistema plantio direto num Latossolo de textura argilosa do Alto Paraná, Paraguai, segundo as normas da revista *Pesquisa Agropecuária Tropical* da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás.

O artigo IV intitulado “Atributos químicos do solo pela reaplicação de doses de gesso agrícola em um Latossolo manejados sob plantio direto no Paraguai ” teve como objetivo: avaliar o efeito da reaplicação de doses de gesso agrícola em um Latossolo de textura argilosa de Alto Paraná, Paraguai, segundo as normas da *Revista Investigação Agrária* da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Nacional de Assunção, Paraguai.

O artigo V intitulado “Efeito de doses e reaplicação de gesso em sistema plantio direto numa sucessão soja-milho num Latossolo do Paraguai” teve como objetivo: avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses e reaplicação de gesso em plantio direto numa

sucessão de soja e milho em um Latossolo de textura argilosa de Alto Paraná, Paraguai, adequada às normas da Científica: Revista de Ciências Agrárias da Universidade Estadual Paulista de Jaboticabal.

## 2 REFERÊNCIAS

ARCE, A. **Diagnóstico de la fertilidad de los Suelos de la Región Oriental del Paraguay**. 2017. 79p. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay, 2017.

BATAGLIA, V. **Clasificación de los niveles de acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay**. 2011. 76p. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay, 2011.

CAPECO. **Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas**. 2017. Disponível em: <<http://www.capeco.org.py>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

CAIRES, E.; CHUEIRRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, p.315-327, 1999.

CAIRES, E.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia, Campinas, SP**, v.60, n.3, p.213-223, 2001.

CAIRES, E.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.; KUSMAN, M. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, MG, v.27, p. 275-286. 2003.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M.; Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 n.1 p.125–136, 2004.

CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agrícola**, v. 63, n. 1 p. 370–379, 2006.

CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use Management**, v. 27, p. 45–53, 2011.

CICORE, PL; SAINZ, HR; ECHEVERRIA, H.E.; BARBIERI, P.A. Respuesta del cultivo de soja al agregado de azufre en función de la disponibilidad hídrica y del sistema de labranza. **Revista de Investigación Agraria**, Buenos Aires, AR, v.34. p. 57-73. 2005.

CHERUBIN, M.R. Influência da aplicação de gesso agrícola na produtividade da cultura de soja em Latossolo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXXIII, 2010, Uberlândia, MG. **Anais**. Uberlândia, MG, 2010. p.1-3.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.; ALVAREZ V.H., editores. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

DALLA NORA D.; AMADO, T.J.C. Improvement in chemical attributes of Oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomic Journal**, v.105, p.1393-1403. 2013.

DELFOSSÉ, T.; DELMELLE, P.; GIVRON, C.; DELVAUX, C. Inorganic sulphate extraction from SO<sub>2</sub>-impacted Andosols. **European Journal of Soil Science**, v.56. p.127 - 133, 2005.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ra. ed. Brasília, DF, 2014. 353p.

ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.F.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia agrícola**, Piracicaba, SP, v.58 p.825-831, 2001.

FATECHA, D. **Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay**. 2004. 103p. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay, 2004.

FULLAONDO, E. **Clasificación del nivel de materia orgánica de los suelos de la Región Oriental del Paraguay**. 2014. 75p. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay, 2014

JORGGE, V. **Clasificación de niveles de Fosforo de los suelos de la Región Oriental del Paraguay**. 2012. 59p. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay, 2012.

HAHN, E.; FIORETTO, C.C. Fertilidad de los suelos de la Región Oriental. In: HANH, E. (Org.) **Diagnóstico de la Fertilidad de los suelos de la Agricultura Familiar paraguaya: Región Oriental**. Asunción, Paraguay, Atlas, 2017, cap. 12, p. 177- 191.

GELAIN, E.; ROSA JUNIOR, E.J.; MERCANTE, F.M.; FORTES, D.G.; SOUZA, F.R.; ROSA, Y. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, MG, v.35, n.2, p.259-269, 2011.

LÓPEZ G., O.; GONZÁLEZ, E.; DE LLAMAS., P.; MOLINAS, A.; FRANCO S.; GARCÍA, S.; RÍOS, E. **Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay.** Proyecto de Racionalización del uso de la tierra SSERNMA/MAG/Banco Mundial. Asunción, Paraguay, 1995.

MARTÍNEZ, R. **Clasificación de niveles de potasio de los suelos de la Región Oriental del Paraguay.** 2011. 104 p. Tesis de Grado (Ingeniería Agronómica) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay, 2011.

MASCARENHAS, H.A.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.; TISSELLI-FILHO, O.; MIYASAKA, S. **Calagem e adubação da soja.** 3.ed. In: A soja no Brasil Central. Campinas, Fundação Cargill, 1986. CD-ROM.

MODA, L.R.; BORGES, B.M.; FLORES, R.A.; DOS SANTOS, C.L.; PRADO, R.M.; SOUSA, J.I. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, RR, v.2 n.7, p.129-135, 2013.

NOGUEIRA, M.A.; MELO, W.J. Sulphur availability to soybean and arisulphatase activity in soil treated with phosphogypsum, **Revista Brasileira Ciência de Solo.** Viçosa, MG, v.27, n.4, p.655-663, 2003.

NOIA, N.R.; DAVALO, M.; RIBON, A.A.; WOSNIAK, H. Efeito de doses de gesso nas propriedades químicas do solo. **Acta Iguaçú**, Cascavel, v.3, n.4, p. 10-21, 2014.

NEIS, L.; PAULINO, H.B.; DE SOUZA, E.M.; DOS REIS, O.F.; PINTO, F.A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, p.409-416, 2010.

OLIVEIRA, I.P.; COSTA, K.A.; FAQUIN, V.; MACIEL, G.A.; NEVES, B.P.; MACHADO, E.L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.2, p.592-598, 2009.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.D.; RANZAN, T., BARTH, G., MOTTA, A.C. Long-term effects of the application of gypsum and lime in a no- till system. **Revista Brasileira de Ciência de Solo.** Viçosa, MG, v. 38, p. 495-505. 2014.

POZZA, A.; CURI, N.; GUILHERME L., MARQUES, J.; COSTA, E.; ZULIANIDQ, D.; MOTTA, P.; MARTINS, R.; OLIVEIRA, L.C. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética. **Química Nova.** São Paulo, SP, v.32 p.99. 2009.

RAIJ, B. **Uso do gesso agrícola na agricultura.** Informações Agronômicas, 117. Piracicaba: POTAFOS, p.14-15, 2007.

RAMPIM, L.; LANA, M.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência de Solo.** v. 35, p.1687-1698. 2011.

RHEINHEIMER, D.; RASCHE, J.W.; DA SILVA, L.; OSORIO FILHO, B. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes



teores de argila e matéria orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.37, n.2, p.363-371, 2007.

SALDANHA, E.C.; CÉSAR, E.; TAVARES DA ROCHA, A.; ALMEIDA DE OLIVEIRA E.; NASCIMENTO, W.C; FREIRE, F.J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana de açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v.20, n.1, p.36-42, 2007.

SÁVIO, F.L.; SILVA, G.C.; TEIXEIRA, I.R.; MOTA, J.H.; BORÉM, A. Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, GO, v.2, n.1, p.19-31, 2011.

SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M. PEREIRA, V.M.; ZEVIANI, W.M.; PESSONI, P.T.; Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso, **Bragantia**, Campinas, SP, v.71, n.1, p.75-81, 2012.

SILVA, E.C. **Mobilidade de íons em um Cambissolo Háplico Alumínico submetido à aplicação de calcário e gesso agrícola**. 2010. 91p. (Dissertação em Química Aplicada), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2010.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.675–688, 2008.

SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; JARDIN ROSA, Y.; ZEVIANI, W. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v.33, n.5, p.1717-1732, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DE SOLO. NUCLEO ESTADUAL PARANÁ. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SOUSA, D.M.; DE LOBATO E.; REIN, T.A. **Uso do gesso em solos do Cerrado**. Embrapa Cerrados. Circular técnica 32, 2005, 20p.

VICENSI, M.; MÜLLER, M.M.L.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R. do, MICHALOVICZ, L., LOPES, C. Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v.40, n.1, p.1–17, 2016.

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E. **Fosfogesso: uso agrícola**. In: MALAVOLTA, E. (org). Seminário sobre Corretivos Agrícolas. Campinas, Fundação Cargill, p.161-201.1985.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

ZOCA, S.M.; PENN, C. Chapter One - An Important Tool With No Instruction Manual: A Review of Gypsum Use in Agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 144, n. 1, 2017, 144p

### **3 ARTIGO 1: Atributos químicos de um Argissolo e um Latossolo com aplicação de gesso manejado sob sistema plantio direto no Paraguai**

#### **RESUMO**

A aplicação de gesso agrícola pode melhorar o ambiente subsuperficial do solo e promover o crescimento radicular das plantas em profundidade em solos manejados em sistema de plantio direto. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de gesso em atributos químicos do solo sob plantio direto num Argissolo e Latossolo do Paraguai. O experimento foi realizado de setembro de 2014 a junho de 2016, nos municípios de Itakyry e Minga Porá, Paraguai. Em Minga Porá, três meses antes da instalação do experimento, aplicou-se calcário dolomítico na superfície do solo, na dose de 2.500 kg ha<sup>-1</sup>. Foi utilizado delineamento de blocos ao acaso, com seis doses de gesso agrícola (0, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco repetições. A aplicação do gesso em superfície em dose única foi realizada em setembro de 2014. As amostras de solo foram coletadas oito e vinte meses após a aplicação de gesso, em ambos locais das camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Foram determinados pH CaCl<sub>2</sub>, H+Al, teores de Ca, Mg, S, K e P disponível, saturação por bases, saturação por Al e CTC<sub>pH7</sub>. A aplicação de gesso não influenciou nos teores de Al, saturação por bases, saturação por Al e acidez potencial, provocou aumento de acidez ativa tanto no Argissolo e Latossolo até 20 cm de profundidade. O teor de Ca aumentou linearmente no Argissolo na camada 0–10 cm, e aumentou na camada 10–20 cm a partir de 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso. O teor de Mg diminuí-o de forma linear na camada 0–10 cm no Argissolo e a partir de 1000 kg ha<sup>-1</sup> na camada 0–10 cm no Latossolo. As doses de 100 a 1600 kg ha<sup>-1</sup> de gesso elevaram linearmente o teor de S nas três camadas avaliadas tanto no Argissolo como no Latossolo. Houve mobilidade de K até 40 cm no Argissolo e Latossolo.

**Palavras-chave:** gessagem, parâmetros químicos, fertilidade de solo.

## **Chemical attributes of an Argissolo and Latossolo with cast application gypsum under no-tillage system in Paraguai**

### **ABSTRACT**

The application of gypsum can improve the subsurface soil environment and promote the root growth of plants in soils on tillage depth. This work aimed to evaluate the effect of the application of gypsum in chemical attributes the soil under no-tillage in the Argissolo and Latossolo in Paraguai. The experiment was conducted in September 2014 to June 2016, in the district of Itakyry and Minga Porá, Paraguai. Was used randomized design with six doses of gypsum (0, 100, 200, 400, 800 and 1600 kg ha<sup>-1</sup>) and five repetitions. The application of surface in single dose was held in September 2014. In Minga Porá will put three months before installation of the experiment, dolomitic limestone was applied on the soil surface, at a dose of 2500 kg ha<sup>-1</sup>. The soil samples were collected 8 and 20 months after the application of gypsum, in both locations of layers of 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Were determined pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub>, H+Al, concentrations of Ca, Mg, S, K and P available, base saturation and Al saturation and CTC<sub>pH7</sub>. The application of gypsum not influence on Al levels, bases saturation, Al saturation and acidity potential, caused increase of active acidity in both Argissolo and Latossolo up to 20 cm deep. The Ca content increased linearly in the Argissolo on layer 0–10 cm and increased on 10–20 cm layer cm from 500 kg ha<sup>-1</sup> gypsum. The Mg content decrease the linearly on the layer 0–10 cm in the Argissolo and from 1000 kg ha<sup>-1</sup> on the layer 0–10 cm in Latossolo. The doses of 100 a 1600 kg ha<sup>-1</sup> gypsum increased linearly the content of S in three layers evaluated both in the Argissolo as in Latossolo. There were up to 40 cm K mobility in Latossolo and Argissolo.

**Keywords:** plastering, chemical parameters, soil fertility.

### **INTRODUÇÃO**

No Paraguai, a produção de grãos é concentrada principalmente na Região Oriental em cerca de 3,5 milhões de hectares manejados na grande maioria no sistema de plantio direto (CAPECO, 2017) em Argissolos e Latossolos com problemas de acidez e degradação química. Nessas condições, sem revolvimento do solo, a prática mais comumente utilizada para neutralizar a acidez é a aplicação superficial de calcário. Contudo, o efeito do calcário

em profundidade é geralmente lento e a correção da acidez do solo é limitada às camadas mais superficiais do solo no curto prazo (RHEINHEIMER et al., 2000, 2018). As camadas subsuperficiais podem continuar com altos teores de  $Al^{3+}$  trocável (forma tóxica), associado ou não à deficiência de nutrientes. Conseqüentemente, as raízes da maioria das espécies cultivadas desenvolverem-se apenas na camada superficial, tornando-as mais susceptíveis às condições de estresse hídrico.

A aplicação superficial de gesso agrícola constitui-se numa alternativa para solucionar esse problema em curto prazo, sendo utilizado em solos ácidos como um produto complementar ao calcário. O gesso, ou sulfato de cálcio ( $CaSO_4$ ) é um sal neutro, subproduto da indústria de adubos fosfatados que contém quantidades apreciáveis de Ca e S, e pequenas concentrações de P (CAIRES et al., 2003; SÁVIO et al., 2011). Devido à sua maior solubilidade comparado ao calcário, os produtos da solubilização do gesso agrícola migram rapidamente no perfil do solo (SORATTO e CUSCIOL, 2008), diminuindo assim a atividade do  $Al^{3+}$  no subsolo devido principalmente ao aumento da força iônica da solução e também pela formação de par iônico com o sulfato (ZAMBROSI et al., 2007). Isso proporciona um ambiente com condições que permitem o aprofundamento do sistema radicular das plantas, aumentando a exploração de nutrientes e água, conferindo assim maior resistência às condições de estresse hídrico (DALLA NORA e AMADO, 2013; ZANDONÁ et al., 2015).

Após sua solubilização na solução do solo, é formado um par iônico entre o  $Ca^{2+}$  e o  $SO_4^{2-}$  com residual de carga baixo, em grande abundância, o que facilita a sua mobilização vertical no solo juntamente com a infiltração da água. Vários trabalhos têm demonstrado o aumento do teor de Ca e S no solo das camadas superficiais e subsuperficiais logo após a aplicação de gesso agrícola (OLIVEIRA et al., 2002; CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004; RAMOS et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007; CAIRES et al., 2011b; RAMPIM et al., 2011; NOIA et al., 2014). O  $Ca^{2+}$  também pode ser retido pelos sítios de troca do solo, pois é adsorvido ao solo preferencialmente em relação aos outros cátions básicos como o  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ . Esses, por sua vez, podem também formar pares iônicos com o  $SO_4^{2-}$  e serem transferidos para camadas mais profundas. Em casos de doses muito elevadas de gesso agrícola, isso pode inclusive resultar em diminuição da produtividade das culturas devido a deficiência induzida de Mg (CAIRES et al., 2011a; FONTOURA et al., 2012). A lixiviação de Mg tem sido frequente nos estudos com aplicação de gesso em solos agrícolas (CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004, RAMPIN et al., 2011), podendo promover ainda a lixiviação de K (SORATO e CRUSCIOL et al., 2008, NOIA et al., 2014; VICENSI et al., 2016).

A textura do solo é um fator determinante da maior lixiviação de cátions promovido pela aplicação de gesso. Solos arenosos, com maior infiltração de água, menor teor de matéria orgânica devido a menor proteção físico-química (STOCKMANN et al., 2013) e, conseqüentemente, menor capacidade de troca de cátions (CTC), são mais propensas a perdas por lixiviação que solos argilosos. Por isso muitos dos critérios técnicos utilizados para recomendação de gesso no Brasil levam em consideração a textura do solo. Para solos do Cerrado brasileiro, Sousa et al. (2005) recomendam considerar o teor de argila do solo para determinar a dose de gesso a ser aplicada para culturas anuais utilizando-se a fórmula: necessidade de gesso (NG) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) =  $5 \times$  teor de argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ). Essa mesma recomendação foi adotada recentemente pelo Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS/NEPAR, 2017).

Atualmente no Paraguai, a aplicação de gesso é uma prática amplamente difundida entre produtores de culturas de grãos e cana de açúcar, mas ainda não existem critérios técnicos definidos para a utilização desse condicionador de solo. Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de gesso em alguns atributos químicos do solo sob plantio direto em um Argissolo e um Latossolo no Paraguai.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Descrição dos locais de estudo*

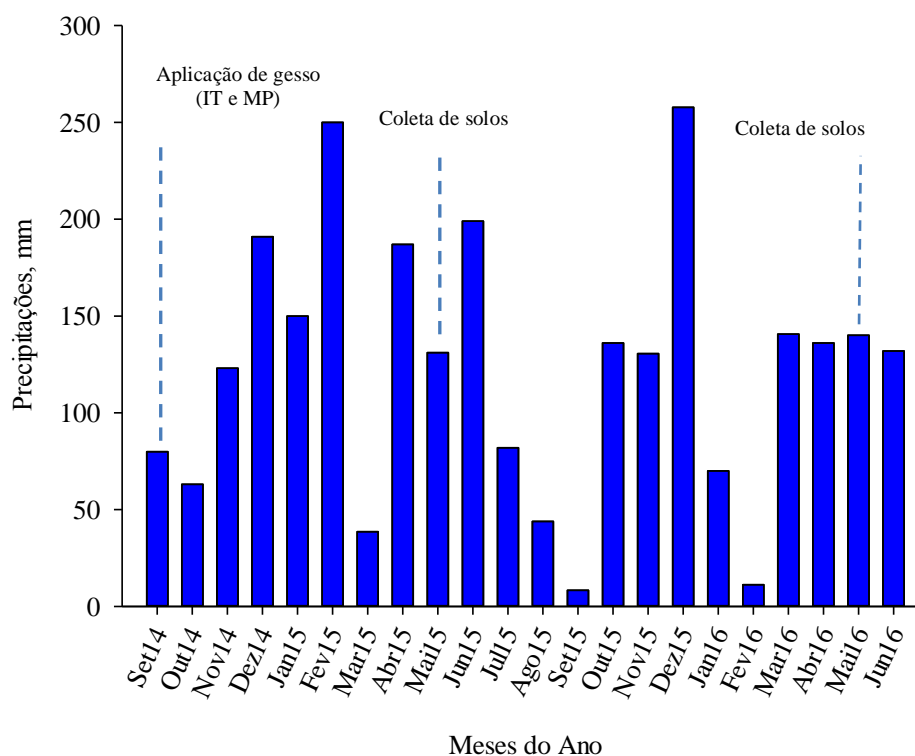
O experimento foi realizado nos meses de setembro de 2014 a junho de 2016, nos municípios de Itakyry (IT -  $55^{\circ} 13' 12''$  O e  $24^{\circ} 55' 88''$  S) e Minga Porá (MP,  $54^{\circ} 53' 57''$  O e  $24^{\circ} 52' 57''$  S), situadas no Departamento de Alto Paraná, Paraguai, ambas com altitude de 302 msnm (Figura 1).



**Figura 1.** Localização geográfica das áreas experimentais em Itakyry e Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, Paraguai.

As áreas experimentais situaram-se em fincas de produtores agrícolas locais, com rotações e/o sucessões de culturas de grãos, utilizadas em sistema de plantio direto há seis (IT) e onze anos (MP). No período experimental, as culturas cultivadas foram soja/soja/soja/aveia-nabo forrageiro em IT e soja/milho/soja/milho em MP.

De acordo com a classificação de Köppen (1931), o clima predominante na região é tipo Cfa, subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. Durante a condução do experimento, registrou-se uma precipitação total de 2.701 mm bem distribuídas ao longo dos 22 meses de experimentação (Figura 2).



**Figura 2.** Precipitação média mensal em Itakyry e Minga Porá, no período de setembro de 2014 a junho de 2016. Departamento de Alto Paraná, Paraguai.

Os solos foram classificados segundo López et al. (1995) como Rhodic Paleudult (IT) com textura arenosa e fertilidade média e Rhodic Kandiodox (MP) com textura argilosa e de fertilidade baixa, segundo o sistema Soil Taxonomy (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993), equivalente ao Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVad) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), respectivamente, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

A caracterização físico-química do solo antes da instalação dos experimentos é apresentada na tabela 1. Os solos de IT e MP na camada 0–10 cm apresentaram acidez média e alta, saturação por bases média e baixa, e saturação por Al baixa e alta, respectivamente. Contudo, abaixo de 10 cm de profundidade, os solos de ambos os experimentos apresentavam acidez alta ( $\text{pH} < 5,0$ ), baixa saturação por bases ( $< 31\%$ ) e alta saturação por Al ( $> 20\%$ ). Os teores de S, Ca e Mg no solo da camada 0–10 cm nos dois experimentos estavam próximos ao ideal segundo CQFS-SC/RS (2016). O teor de P no solo da camada 0–10 cm foi alto em ambos experimentos.

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do solo antes da instalação dos experimentos nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm em Itakyry e Minga Porá, Departamento do Alto Paraná, Paraguai

Característica	Unidade	Local Itakyry (PVad)			Local Minga Porá (LVd)		
		0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
pH <sup>(1)</sup>		5,7	4,8	4,4	4,7	4,2	4,1
Al <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,0	0,4	0,6	1,2	1,3	1,4
H+Al <sup>(3)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,7	3,7	4,2	6,7	9,7	9,7
Ca <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,5	1,1	0,9	2,6	2,3	2,1
Mg <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,7	0,4	0,3	1,3	0,9	0,7
K <sup>(4)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,30	0,12	0,09	0,70	0,61	0,50
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,6	1,6	1,4	4,7	3,9	3,4
CTC <sub>pH7,0</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,3	5,3	5,6	11,4	13,6	13,1
V	%	63	31	24	41	29	26
m	%	2	20	32	21	26	30
MO <sup>(6)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	15	10	7	42	35	20
P <sup>(4)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	28,0	25,5	7,23	26,3	12,4	5,2
S <sup>(5)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	9,2	10,4	12,5	7,1	7,6	8,1
Areia <sup>(7)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	790	860	900	430	420	380
Silte <sup>(7)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	80	40	20	140	130	160
Argila <sup>(7)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	130	90	80	430	450	460

<sup>(1)</sup>pH em CaCl<sub>2</sub>, relação 1:2,5. <sup>(2)</sup>Extrator KCl 1mol L<sup>-1</sup>. <sup>(3)</sup>Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0. <sup>(4)</sup>Extrator Mehlich-1. <sup>(5)</sup>Extrator Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P em HOAc 2,0 mol L<sup>-1</sup>. <sup>(6)</sup>Walkley-Black. <sup>(7)</sup>Método do densímetro (LANA et al., 2016)

Em MP, três meses antes da instalação do experimento, aplicou-se calcário dolomítico com 90% de PRNT. A aplicação foi realizada a lanço na superfície do solo, na dose de 2.500 kg ha<sup>-1</sup>, a qual foi calculada para elevar a saturação por bases a 70% na camada de 0–20 cm. Aplicaram-se em cada safra de soja, 200 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante NPK 4–30–20 e em cada safra de milho 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando a ureia como fonte nitrogenada.

### *Desenho experimental*

Em IT e MP foi utilizado delineamento de blocos ao acaso, com seis doses de gesso agrícola (0, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco repetições. As unidades experimentais mediam 8 × 8 m (64,0 m<sup>2</sup>) totalizando 1.920 m<sup>2</sup> de área total. A aplicação do gesso em superfície em dose única foi realizada em setembro de 2014 sobre palhada de aveia preta e trigo, em IT e MP, respectivamente.



### *Amostragem e análise do solo*

As amostras de solo foram coletadas 8 e 20 meses após a aplicação de gesso, em ambos locais em cada parcela, utilizando pá de corte coletando três subamostras por parcela para compor uma amostra composta das camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Após secagem a 50°C e peneiramento a 2 mm, foram determinados: o pH do solo em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>; o pH do solo em solução SMP para estimar a acidez potencial do solo (H+Al); K e P disponível extraído por Mehlich-1, sendo o K determinado por fotômetro de chama e o P por método colorimétrico; S disponível extraído com fosfato de cálcio (500 mg L<sup>-1</sup> de P em ácido acético (HOAc) 2 mol L<sup>-1</sup>) com posterior determinação pelo método turbidimétrico; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, sendo o Al determinado por titulação com solução de NaOH 0,015 mol L<sup>-1</sup> e Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica.

Posteriormente, a soma de bases (SB) foi determinada pela soma de bases trocáveis do solo (Ca+Mg+K). A capacidade de troca de cátions potencial a pH 7,0 ( $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ ) foi obtida pela soma de SB+(H+Al). A saturação por Al (m) foi obtida pela relação:  $m (\%) = [\text{Al}/(\text{SB}+\text{Al})] \times 100$ . A saturação de bases (V) foi calculada com o uso da fórmula:  $V (\%) = 100 \times \text{SB} / \text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ .

As análises de solos foram realizadas no laboratório de Fertilidade e Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Oeste de Paraná, Brasil e no Centro R&D Sudamérica Timac Agro, Paraguai.

### *Análises estatísticas*

Os dados obtidos foram submetidos à análise variância (ANOVA), de acordo as doses de gesso para cada local e época. Quando os efeitos foram significativos ( $p < 0,05$ ) pelo teste de F, foram ajustadas equações de regressão para as doses de gesso para cada camada de solo utilizando o programa INFOSTAT (DI RENZO et al., 2011).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nos locais de IT e MP, a adição de gesso ao solo até a dose de 1600 kg ha<sup>-1</sup> não influenciou os valores de pH do solo nas três profundidades avaliadas (Tabela 2), coincidindo com os resultados encontrados por Jimenez et al. (2007), a exceção aos vinte meses após aplicação, no qual houve alterações no pH na camada de 10–20 cm em IT com aumento para 5,47 aplicando até 786 kg ha<sup>-1</sup> de gesso. Em MP houve elevação do pH a partir de doses de

916 e 833 kg ha<sup>-1</sup> nas profundidades 0–10 e 10–20 cm respectivamente . Ramos et al. (2006) e Caires et al. (2003) constataram que o gesso não modifica a acidez ativa do solo. O gesso é um sal neutro, não sendo esperadas alterações no pH do solo, mas nas camadas subsuperficiais podem ocorrer pequenos aumentos no pH, como ocorridas neste experimento, em função de uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, em razão da adsorção de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> aos óxidos de Fe e Al, deslocando OH<sup>-</sup>, provocando uma neutralização parcial da acidez do solo (Raij, 2011).

**Tabela 2.** Valores médios e resumo da análise de variância para pH CaCl<sub>2</sub> no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade na coleta após 8 e 20 meses da adição de doses de gesso agrícola nos locais de Itakyry e Minga Porá, Paraguai

Dose de gesso	pH CaCl <sub>2</sub>											
	Local Itakyry (PVad)						Local Minga Porá (LVd)					
	8 meses			20 meses			8 meses			20 meses		
kg ha <sup>-1</sup>	Profundidade (cm)											
	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40
0	5,9	4,8	4,4	5,2	4,6	4,4	6,1	6,0	5,6	5,8	5,5	5,5
100	5,9	4,7	4,8	5,0	4,4	4,0	5,6	5,5	5,1	5,2	5,0	5,0
200	5,0	5,0	4,4	5,3	5,3	4,1	5,5	5,3	5,7	5,4	5,2	5,2
400	5,6	4,2	4,2	5,0	4,7	4,2	6,0	5,4	5,2	5,3	5,1	5,2
800	4,9	4,9	4,5	5,0	5,0	4,1	5,8	5,4	5,1	5,2	4,9	4,9
1600	5,5	4,4	4,3	5,2	4,5	4,0	5,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Média	5,5	4,7	4,4	5,1	4,8	4,1	5,8	5,5	5,4	5,4	5,2	5,2
Valores de F												
F Bloco	0,71 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	2,45 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	4,61*	4,89*	5,09*	1,87 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
F Gesso	0,07 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	4,31*	1,25 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	2,60 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	2,22 <sup>ns</sup>
F Linear	3,21 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	2,22 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	2,01 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,04*
F Quadrático	2,41 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	5,8*	0,70 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	3,35 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	5,78*	5,16*	4,94 <sup>ns</sup>
F Cúbico	0,37 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	2,37 <sup>ns</sup>	4,37*	0,59 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,21*
CV %	10,9	10,5	9,2	7,4	7,9	7,3	7,4	9,8	8,6	6,1	6,3	6,8
Parametros de Regressão												
Local	Coleta	Prof. (cm)	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Ponto de máximo (kg ha <sup>-1</sup> )	Ponto de mínimo (kg ha <sup>-1</sup> )	Máxima da função	Mínima da função		
Itakyry	20 meses	10–20	4,61	0,0011	-7.10 <sup>-7</sup>	0,40	786		5,47			
Minga Porá	20 meses	0–10	5,33	-0,0001	6.10 <sup>-7</sup>	0,48		916			5,1	
Minga Porá	20 meses	10–20	5,34	-0,001	7.10 <sup>-7</sup>	0,64		833			4,92	

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.

Os valores de H+Al não foram influenciados pelas doses de gesso em Itakyry, nas três camadas de solo aos oito e vinte meses após aplicação do gesso (Tabela 3), em acordo com resultados de Vicensi et al. (2016), Rampin et al. (2011) e Caires et al. (2004), que também não verificaram diferenças, em solo de condição bastante semelhante. No local de Minga Porá aos vinte meses as camadas de 0–10 e 20–40 cm de profundidade sofreram leves variações nas concentrações de H+Al a partir de 1.100 e 625 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, respectivamente.

**Tabela 3.** Teores médios e resumo da análise de variância para H+Al no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade na coleta após 8 e 20 meses da adição de doses de gesso agrícola nos locais de Itakyry e Minga Porá, Paraguai

Dose de gesso	H+Al											
	Local Itakyry (PVad)						Local MP (LVd)					
	8 meses			20 meses			8 meses			20 meses		
Profundidade (cm)												
	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40
kg ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>											
0	2,7	3,7	4,0	3,1	3,7	3,3	3,3	3,6	4,1	4,1	4,5	4,4
100	2,7	4,0	3,9	3,3	3,9	3,8	4,7	5,3	5,0	5,9	5,9	5,9
200	3,3	4,6	3,9	3,0	3,9	3,9	4,3	4,9	3,8	5,0	5,4	5,1
400	2,9	4,4	4,2	3,3	3,4	3,9	3,5	4,6	4,9	5,3	5,4	5,0
800	3,3	4,5	3,8	3,3	3,6	3,6	3,9	5,0	5,2	5,6	6,0	6,0
1600	3,0	5,3	4,1	3,0	3,7	3,7	4,4	4,8	4,3	4,8	4,5	4,4
Média	3,0	4,4	4,0	3,2	3,7	3,7	4,0	4,7	4,5	5,1	5,2	5,1
Valores de F												
F Bloco	0,49 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	4,17 <sup>ns</sup>	1,88 <sup>ns</sup>	2,53 <sup>ns</sup>	3,28 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
F Gesso	1,01 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	2,60 <sup>ns</sup>	2,01 <sup>*</sup>	3,09 <sup>*</sup>
F Linear	1,86 <sup>ns</sup>	4,16 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
F Quadrático	0,93 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	5,87 <sup>ns</sup>	5,13 <sup>*</sup>	4,13 <sup>*</sup>
F Cúbico	0,12 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	7,50 <sup>ns</sup>	1,57 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
CV %	21,2	27,6	11,7	15,2	18,2	15,9	20,1	25,2	19,9	16,5	18,0	16,8
Parametros de Regressão												
Local	Coleta	Prof. (cm)	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Ponto de máximo kg ha <sup>-1</sup>	Maxima da função cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
Minga Porá	20 meses	0–10	4,76	0,0022	-1.10 <sup>-6</sup>	0,36	1.100	5,97				
Minga Porá	20 meses	20–40	4,78	0,0025	-2.10 <sup>-6</sup>	0,48	625	5,56				

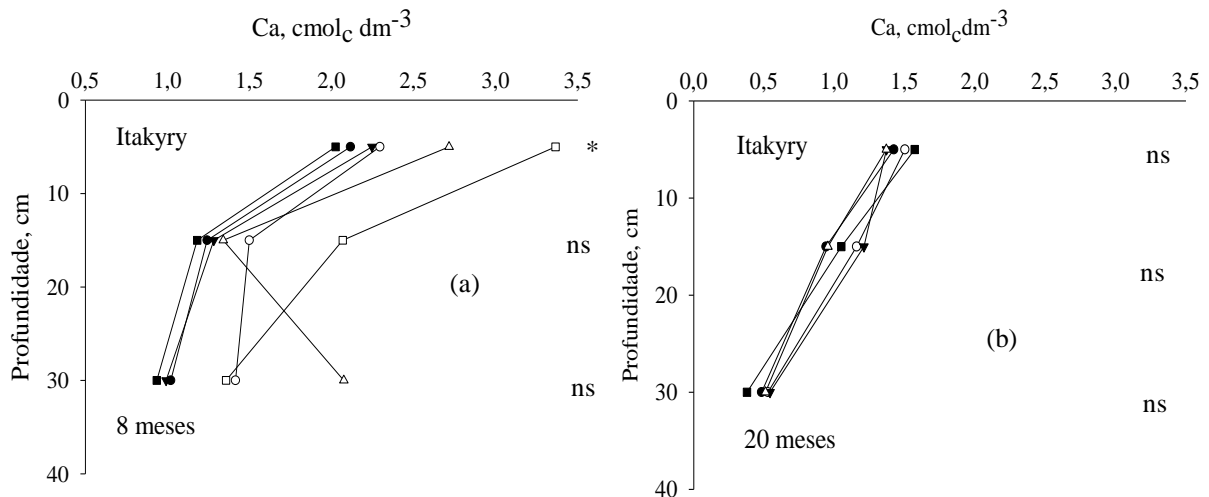
\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.

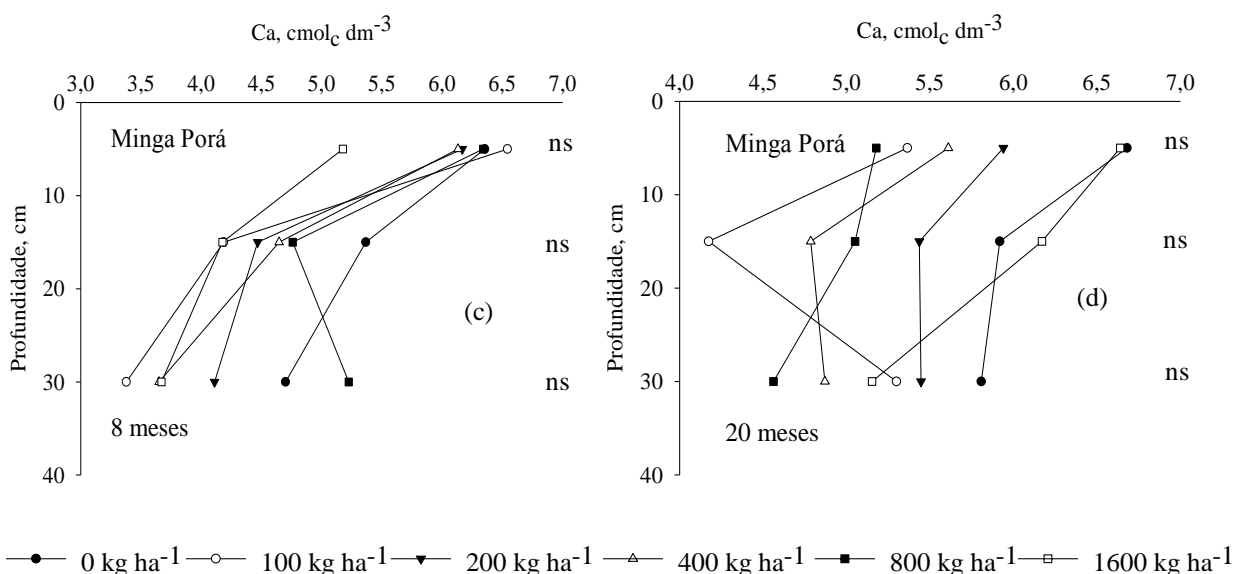
Após oito meses da aplicação das doses de gesso em IT ocorreu um aumento linear dos teores de Ca na camada de 0–10 cm (Tabela 4, Figura 3a), concordando com Caires et al. (2004) e Saldanha et al. (2007) que mostraram aumento nos teores de Ca nas mesmas profundidades. Enquanto que em MP, o uso do gesso agrícola não influenciou os teores de Ca nas três camadas avaliadas (Tabela 4). O fato de que o gesso não ter influenciado o teor de cálcio coincide com Jimenez et al. (2007). No entanto, Caires et al. (2003) e Noia et al (2014), relatam que o gesso tem a capacidade de aumentar o teor de cálcio no solo devido a sua alta solubilidade, principalmente quando utilizado doses altas de gesso, que alcançam até 12 t ha<sup>-1</sup> (CAIRES et al., 2003; 2004).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para Ca no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade na coleta após 8 e 20 meses da adição de doses de gesso agrícola nos locais de Itakyry e Minga Porá, Paraguai.

Dose de gesso	Ca											
	Local Itakyry (PVad)						Local Minga Porá (LVd)					
	8 meses			20 meses			8 meses			20 meses		
Profundidade (cm)												
	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40
kg ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>											
0	2,12	1,24	1,02	1,42	0,94	0,48	6,4	5,4	4,7	6,7	5,9	5,8
100	2,29	1,50	1,41	1,38	0,86	0,37	6,5	4,2	3,4	5,4	4,2	5,3
200	2,25	1,28	0,99	1,50	1,16	0,53	6,2	4,5	4,1	5,9	5,4	5,4
400	2,72	1,34	2,07	1,37	1,21	0,54	6,1	4,6	3,6	5,6	4,8	4,9
800	2,02	1,18	0,93	1,37	0,95	0,51	6,3	4,8	5,2	5,2	5,1	4,6
1600	3,36	2,07	1,36	1,57	1,05	0,38	5,2	4,2	3,7	6,6	6,2	5,2
Média	2,46	1,44	1,30	1,44	1,03	0,47	6,12	4,62	4,12	5,90	5,27	5,20
Valores de F												
F Bloco	8,81	4,27 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	2,86 <sup>ns</sup>	6,24 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>
F Gesso	5,56*	1,62 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
F Linear	10,8*	2,30 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>
F Quadrático	2,74 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	3,47 <sup>ns</sup>	3,92 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
F Cúbico	4,84*	3,20 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	5,54 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
CV %	21,8	23,1	6,8	25,9	34,3	35,2	23,5	33,2	27,8	21,8	23,1	23,6
Parâmetros de Regressão												
Local	Coleta	Prof. (cm)	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Ponto de mínima kg ha <sup>-1</sup>		Mínimo da função cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
Itakyry	8 meses	0–10	2,1	0,0006		0,56						

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.





**Figura 3.** Teor de Ca no solo aos 8 (a, c) e 20 meses (b,d) após a aplicação das doses de gesso agrícola para os dois locais. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ns =não significativo.

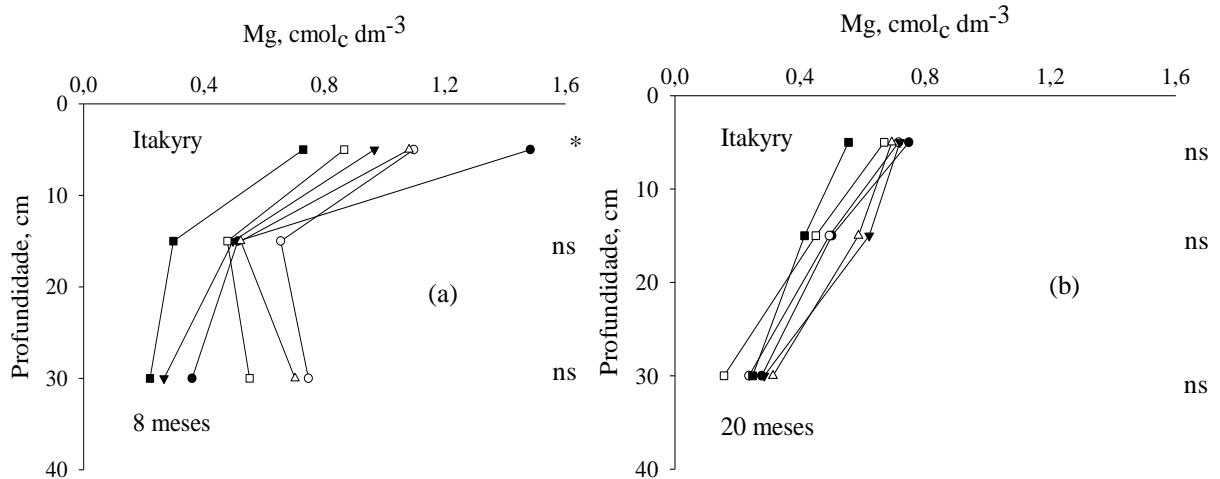
Em IT comparando os valores de concentração de Mg no início do experimento (Tabela 1), observa-se uma redução linear do teor de Mg na profundidade 0–10 cm aos oito meses logo da aplicação do gesso (Tabela 5, Figura 4a). Vicensi et al. (2016) reportaram decréscimos lineares de Mg nas camadas de 0–10 e 10–20 cm solo, semelhante a outros estudos (SORATTO e CRUSCIOL, 2008; CAIRES et al., 2011b). Em MP após oito meses da adição de gesso, as doses crescentes influenciaram no teor de Mg no solo na camada 0–10 cm (Figura 4c) com diminuição a partir da aplicação de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de gesso. As camadas de 10–20 e 20–40 cm tanto aos oito e vinte meses em ambos locais após aplicação não foram afetadas.

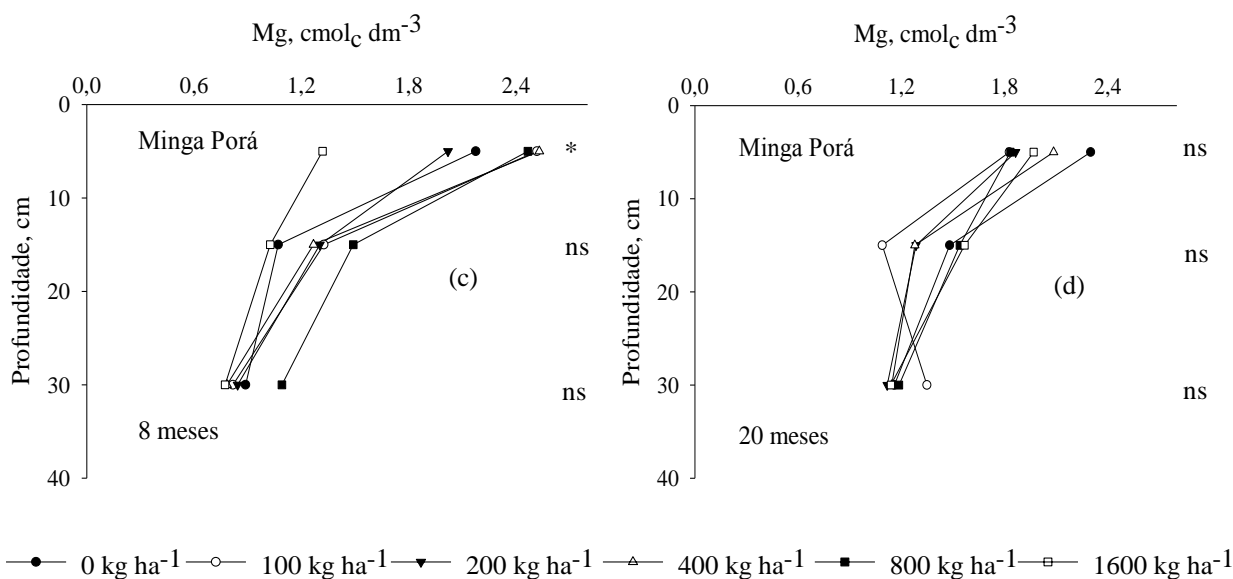
Ressalta-se a importância de considerar os teores iniciais do Mg do solo para recomendações de doses de gesso a aplicar, para o manejo deste nutriente em função da elevada influência promovida pelo gesso em sua disponibilidade. Uma estratégia seria aplicações de doses baixas, como foram realizadas em ambos locais, de até 1600 kg ha<sup>-1</sup>, onde as concentrações de Mg no solo após oito e vinte meses, mantiveram-se com teores adequados nas camadas superficiais no solo, acima do teor crítico, maior que 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (CQFS-SC/RS, 2016) para o apropriado desenvolvimento das culturas. Outras alternativas seriam a utilização de calcário dolomítico ou termofosfato magnésiano aliado à aplicações de elevadas doses de gesso.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para Mg no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade na coleta após 8 e 20 meses da adição de doses de gesso agrícola nos locais de Itakyry e Minga Porá, Paraguai

Dose de gesso	Mg											
	Local Itakyry (PVad)						Local Minga Porá (LVd)					
	8 meses			20 meses			8 meses			20 meses		
Profundidade (cm)												
	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40
kg ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>											
0	1,48	0,51	0,36	0,75	0,50	0,28	2,18	1,07	0,89	2,30	1,48	1,16
100	1,10	0,65	0,75	0,71	0,49	0,24	2,52	1,33	0,82	1,83	1,09	1,35
200	0,97	0,50	0,27	0,72	0,62	0,28	2,02	1,30	0,84	1,86	1,28	1,12
400	1,08	0,52	0,70	0,69	0,59	0,31	2,53	1,27	0,78	2,08	1,28	1,14
800	0,73	0,30	0,22	0,55	0,41	0,25	2,47	1,49	1,09	1,83	1,54	1,19
1600	0,87	0,48	0,55	0,67	0,45	0,16	1,32	1,03	0,77	1,97	1,57	1,14
Média	1,04	0,49	0,48	0,68	0,51	0,25	2,17	1,25	0,87	1,98	1,37	1,18
Valores de F												
F Bloco	0,89 <sup>ns</sup>	10,7 <sup>ns</sup>	5,30 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	3,17 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	2,38 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
F Gesso	7,40*	1,88 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	2,64 <sup>ns</sup>	3,18 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
F Linear	26,2*	2,99 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	3,90 <sup>ns</sup>	3,21 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
F Quadrático	4,04 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	5,38 <sup>ns</sup>	5,72 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
F Cúbico	0,59 <sup>ns</sup>	4,01 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	2,95 <sup>ns</sup>	2,89 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	1,59 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
CV %	20,5	37,8	35,2	29,4	41,2	29,7	26,9	32,4	29,4	24,9	28,1	35,4
Parâmetros de regressão												
Local	Coleta	Prof. (cm)	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Ponto de máxima kg ha <sup>-1</sup>	Máxima da função cmol dm <sup>-3</sup>				
Itakyry	8 meses	0–10	1,2	-0,0003		0,42						

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.





**Figura 4.** Teor de Mg no solo aos 8 (a, c) e 20 meses (b,d) após a aplicação das doses de gesso agrícola para os dois locais. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ns =não significativo.

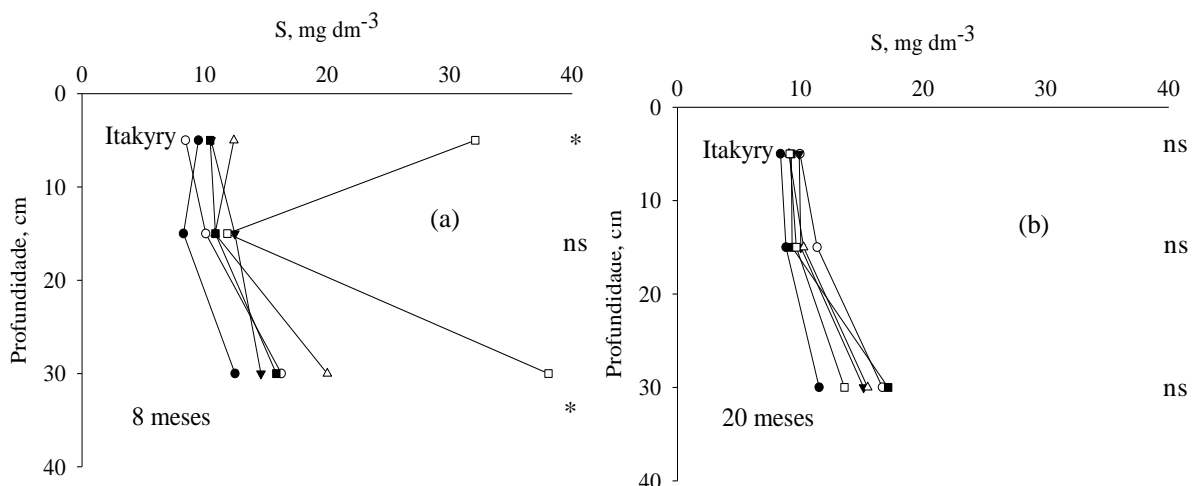
Em IT as doses de gesso incrementaram de forma linear o teor de S na camada 0–10 cm e 20–40 cm oito meses após a aplicação (Tabela 6, Figura 5a). Aos vinte meses não houve efeito em função as doses adicionadas. Na avaliação no local de MP é possível constatar que as doses de gesso, aos oito meses após aplicação, igualmente proporcionaram incrementos lineares no teor de S nas três profundidades, mantendo-se estes incrementos vinte meses após a aplicação (Tabela 6, Figura 5c, 5d) em concordância com Caires et al. (2003) que observaram que o  $\text{SO}_4^{-2}$  proveniente do gesso estava distribuído regularmente por todo o perfil até a profundidade de 0,60 m.

A presença de maior teor de MO na camada A, observada em MP (Tabela 1), pode acentuar a movimentação do íon  $\text{SO}_4$  no solo (Caires et al., 2004). Já na camada B a fração mineral tem um importante papel no balanço de cargas, expondo, inclusive, cargas positivas. A adsorção do sulfato a estes sítios reduz sua mobilidade, ocorrendo seu acúmulo, observado em MP (Wadt, 2000).

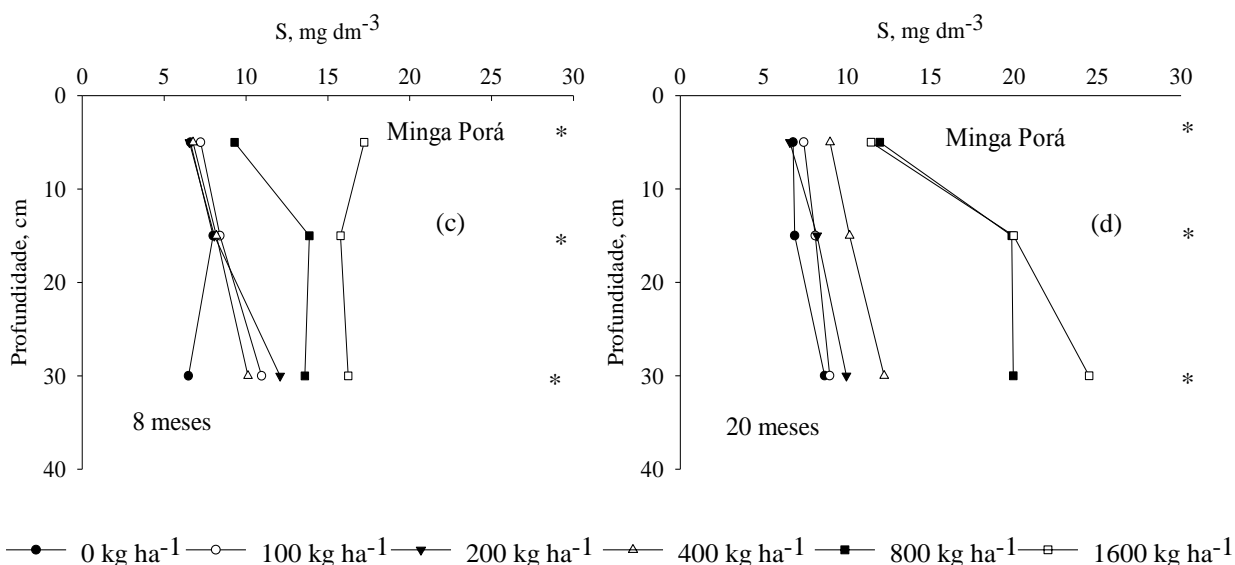
**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para saturação por S no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade na coleta após 8 e 20 meses da adição de doses de gesso agrícola nos locais de Itakyry e Minga Porá, Paraguai

Dose de gesso	S											
	Local Itakyry (PVad)						Local Minga Porá (LVd)					
	8 meses			20 meses			8 meses			20 meses		
Profundidade (cm)												
	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40
kg ha <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>											
0	9,5	8,3	12,5	8,4	8,8	11,5	6,6	6,8	8,0	6,8	6,5	8,6
100	8,4	10,1	16,3	10,0	11,4	16,7	7,2	7,4	8,4	8,1	11,0	8,9
200	10,5	12,5	14,6	9,9	10,0	15,1	6,5	6,6	8,1	8,2	12,1	9,9
400	12,4	10,8	20,0	9,1	10,3	15,5	6,8	9,0	8,2	10,1	10,1	12,2
800	10,5	10,9	15,8	9,3	9,3	17,2	9,3	11,9	13,9	19,9	13,6	19,9
1600	32,1	11,8	38,1	9,1	9,7	13,6	17,2	11,4	15,8	20,0	16,2	24,5
Média	13,9	10,7	19,6	9,3	9,9	14,9	8,9	8,9	10,4	12,2	11,6	14,0
Valores de F												
F Bloco	3,34 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	7,79 <sup>ns</sup>	2,38 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>	3,15 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	5,60 <sup>ns</sup>
F Gesso	6,42*	0,87 <sup>ns</sup>	4,79*	0,74 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	10,7*	2,17*	4,22*	10,4*	3,19*	3,30*
F Linear	21,3*	2,01 <sup>ns</sup>	13,5*	0,02 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	31,1*	7,81*	16,5*	41,1*	13,1*	14,2*
F Quadrático	6,01*	0,90 <sup>ns</sup>	4,36 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	17,8*	2,11 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	1,95 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>
F Cúbico	1,93 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	3,58 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	3,15 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	4,85 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	3,13 <sup>ns</sup>	3,43 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
CV %	26,3	32,7	49,1	16,4	16,6	34,5	31,8	51,0	31,0	18,5	34,5	38,1
Parametros de Regressão												
Local	Coleta	Prof. (cm)	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>							
Itakyry	8 meses	0–10	12,2	0,014	0,81							
Itakyry	8 meses	20–40	10,1	0,0012	0,24							
Minga Porá	8 meses	0–10	5,5	0,006	0,91							
Minga Porá	20 meses	0–10	7,1	0,003	0,72							
Minga Porá	8 meses	10–20	7,1	0,03	0,72							
Minga Porá	20 meses	10–20	7,2	0,010	0,87							
Minga Porá	8 meses	20–40	7,5	0,005	0,88							
Minga Porá	20 meses	20–40	8,4	0,010	0,95							

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.







**Figura 5.** Teor de S no solo aos 8 (a, c) e 20 meses (b,d) após a aplicação das doses de gesso agrícola para os dois locais. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ns =não significativo.

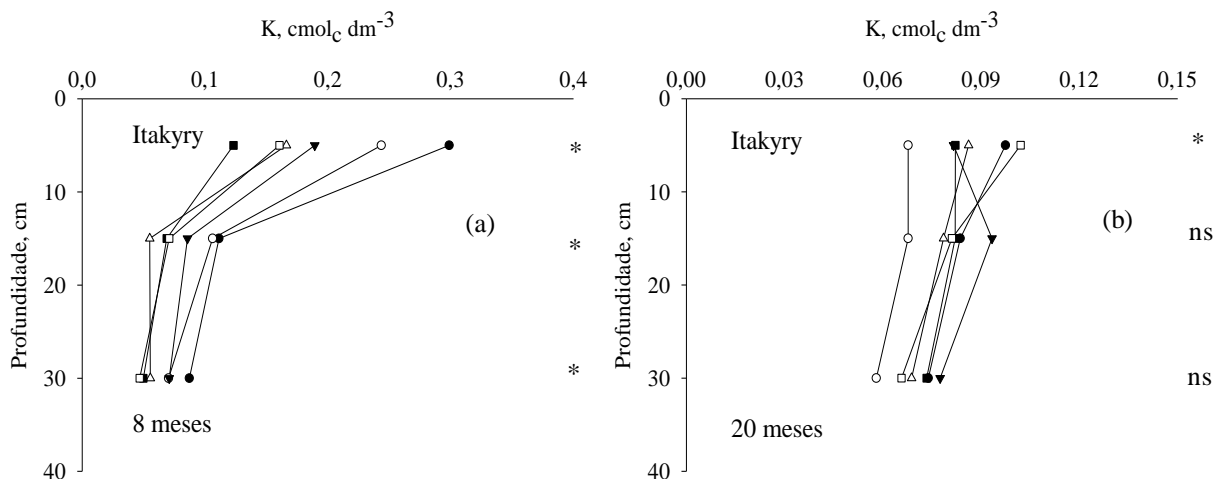
Em IT, na avaliação da coleta de solo aos oito meses, houve alterações do teor de K nas três camadas avaliadas, diminuindo significativamente comparados aos teores iniciais (Tabela 7, Figura 6a). Rampin et al. (2011) verificaram que o uso do gesso em doses de 1 a 5 t ha<sup>-1</sup> proporciona redução linear de K até 10 cm. Após vinte meses se observou aumento do teor de K somente na camada 0–10 cm (Figura 6b), a partir da aplicação de 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso. No entanto, em MP aos vinte meses houve aumento de K a partir da aplicação de 667, 833 e 750 kg ha<sup>-1</sup> nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm, respectivamente. (Tabela 7). Isso demonstra que o gesso poderia estar forçando a migração de K para camadas mais profundas melhorando a condição subsuperficial do solo (Figura 6c, 6d). Serafim et al. (2012) e Noia et al. (2014) em experimentos similares, evidenciaram a redução dos teores de K do solo com a aplicação de gesso.

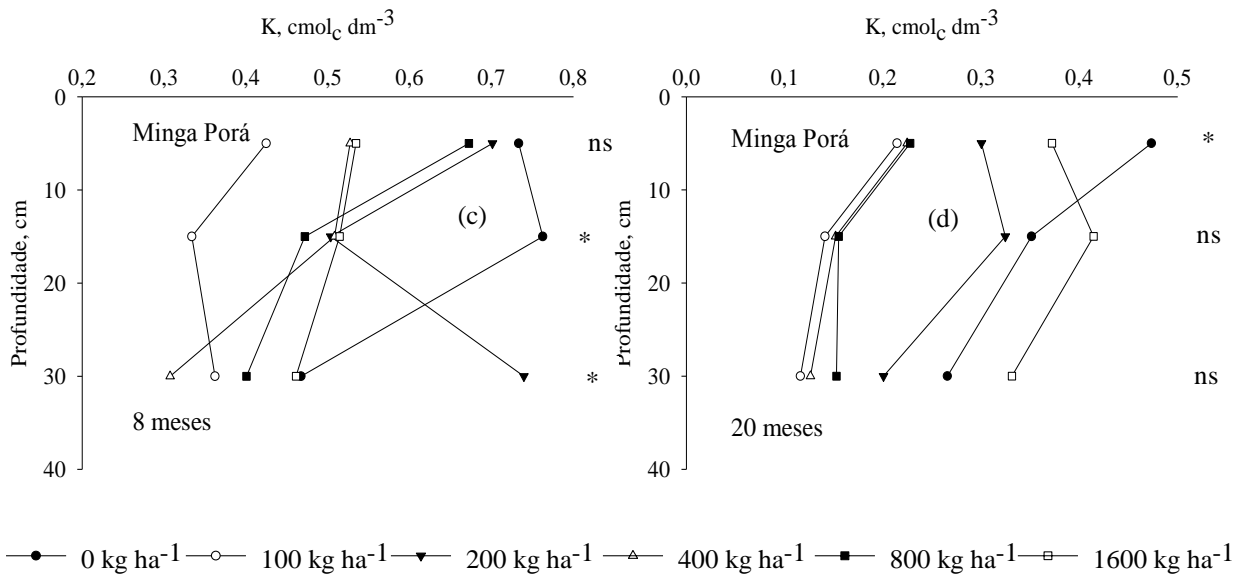
No presente trabalho houve migração de K pela aplicação de gesso tanto no Argissolo e Latossolo, no entanto, não houve acúmulo do K na camada de 20–40 cm. Vittum et al. (1968) relatam que a migração do K pode-se tornar um processo lento na maioria dos solos, acreditando que a fixação do K e a CTC são mecanismos altamente eficientes no armazenamento que dificultam suas perdas. A adição anual de K para as culturas através da adubação favorecem para manter os teores adequados em superfície, sem movimentação significativa em profundidade.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para K no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade na coleta após 8 e 20 meses da adição de doses de gesso agrícola nos locais de Itakyry e Minga Porá, Paraguai

Dose de gesso	K											
	Local Itakyry (PVad)						Local Minga Porá (LVd)					
	8 meses			20 meses			8 meses			20 meses		
Profundidade (cm)												
	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40
kg ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>											
0	0,30	0,11	0,09	0,10	0,08	0,07	0,73	0,76	0,47	0,47	0,35	0,27
100	0,24	0,11	0,07	0,07	0,07	0,06	0,42	0,33	0,36	0,21	0,14	0,12
200	0,19	0,09	0,07	0,08	0,09	0,08	0,70	0,50	0,74	0,30	0,32	0,20
400	0,17	0,05	0,06	0,09	0,08	0,07	0,53	0,51	0,31	0,22	0,15	0,13
800	0,12	0,07	0,05	0,08	0,08	0,07	0,67	0,47	0,40	0,23	0,15	0,15
1600	0,16	0,07	0,05	0,10	0,08	0,07	0,53	0,51	0,46	0,37	0,41	0,33
Média	0,20	0,08	0,07	0,09	0,08	0,07	0,60	0,51	0,46	0,30	0,25	0,20
Valores de F												
F Bloco	0,59 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	3,45 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>	3,97 <sup>ns</sup>	1,83 <sup>ns</sup>	1,71	2,03
F Gesso	3,84*	1,63*	1,50*	2,45*	0,64 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	2,23 <sup>ns</sup>	2,23 <sup>ns</sup>	3,77*	3,39*
F Linear	15,4*	5,61*	6,98*	0,98 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>
F Quadrático	3,00 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	7,05*	0,04 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	7,58*	11,1*
F Cúbico	0,40 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	2,55 <sup>ns</sup>	1,74 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
CV %	37,1	47,1	35,4	35,4	26,9	21,3	34,9	54,7	49,6	41,7	52,7	52,2
Parametros de Regressão												
Local	Coleta	Prof. (cm)	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Ponto de mínima kg ha <sup>-1</sup>	Mínimo da função cmol dm <sup>-3</sup>				
Itakyry	8 meses	0–10	0,23	-5.10 <sup>-7</sup>		0,41						
Itakyry	20 meses	0–10	0,09	-3.10 <sup>-5</sup>	3.10 <sup>-8</sup>	0,50	500	0,07				
Itakyry	8 meses	10–20	0,09	-5.10 <sup>-2</sup>		0,42						
Itakyry	8 meses	20–40	0,07	-5.10 <sup>-3</sup>		0,74						
Minga Porá	20 meses	10–20	0,30	-5.10 <sup>-4</sup>	3.10 <sup>-7</sup>	0,60	833	0,09				
Minga Porá	20 meses	20–40	0,22	-3.10 <sup>-4</sup>	2.10 <sup>-7</sup>	0,74	750	0,11				

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.





**Figura 6.** Teor de K no solo aos 8 (a, c) e 20 meses (b,d) após a aplicação das doses de gesso agrícola para os dois locais. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ns =não significativo.

No local de IT a concentração de Al trocável no início foi menor a  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na camada 0–10 cm e entre  $0,4\text{--}0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  nas camadas 10–20 e 20–40 cm. Com a adição de gesso os valores permaneceram semelhantes em todas as camadas, não influenciando o comportamento do Al durante vinte meses após aplicação (Tabela 8). Entretanto, no local MP antes da calagem o teor de Al trocável apresentava teores altamente prejudiciais no solo nas três camadas avaliadas. Já na primeira coleta de solos realizada há onze meses após calagem já foi observada redução acentuada em tais concentrações, como consequência do corretivo, atuando eficientemente na toxidez do Al. Posterior à adição do gesso até  $1600 \text{ kg ha}^{-1}$  em tais condições não alterou o teor de Al no solo (Tabela 8).

**Tabela 8.** Teores médios e resumo da análise de variância para Al no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40cm de profundidade na coleta após 8 e 20 meses da adição de doses de gesso agrícola nos locais de Itakyry e Minga Porá, Paraguai

Dose de gesso	Al											
	Local Itakyry (PVad)						Local Minga Porá (LVd)					
	8 meses			20 meses			8 meses			20 meses		
Profundidade (cm)												
	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40
kg ha <sup>-1</sup>	-----						-----					
0	0,00	0,45	0,77	0,13	0,25	0,60	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100	0,00	0,70	0,66	0,13	0,44	0,74	0,00	0,00	0,00	0,16	0,28	0,27
200	0,12	0,61	0,77	0,13	0,32	0,63	0,00	0,30	0,22	0,14	0,09	0,16
400	0,15	0,66	0,83	0,16	0,34	0,65	0,00	0,15	0,00	0,09	0,16	0,14
800	0,22	0,81	0,85	0,15	0,30	0,66	0,00	0,30	0,35	0,17	0,25	0,36
1600	0,00	0,46	0,85	0,10	0,23	0,65	0,00	0,00	0,32	0,09	0,10	0,11
Média	0,08	0,62	0,79	0,13	0,31	0,66	0,01	0,13	0,15	0,11	0,15	0,17
Valores de F												
F Bloco	0,32 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	3,14 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	3,49 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>
F Gesso	0,76 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	2,04 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>
F Linear	0,08 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
F Quadrático	0,02 <sup>ns</sup>	3,86 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	5,15 <sup>ns</sup>
F Cúbico	0,17 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>
CV %	32,7	30,2	28,7	53,8	64,8	27,9	51,8	81,7	104,3	50,7	79,8	77,8

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.

No Argissolo (IT) pode-se observar aumento para o teor de P no solo na camada 10–20 cm após oito meses com aplicação de 900 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, e na camada 20–40 aos vinte meses a partir de 600 kg ha<sup>-1</sup> de gesso (Tabela 9). No Latossolo (MP) os teores de P foram maiores em superfície com relação às demais profundidades, influenciados pelas adubações as culturas de grãos, mais sem sofrer alterações pelas doses de gesso nas profundidades avaliadas, com exceção da camada 0–10 cm aos vinte meses, havendo aumento do teor de P a partir da dose 750 kg ha<sup>-1</sup> de gesso. A contribuição do gesso nos teores de P foi pequena considerando as doses de 1600 ou 3200 kg ha<sup>-1</sup> aplicadas e concentração do nutriente ao redor de 12 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As características do solo deste local do experimento, Latossolo Vermelho Distroférrico, também podem ter influenciado neste resultado, onde o P adicionado tem grande chance de ser adsorvido/fixado pela fração mineral, ainda mais se considerado o fato do gesso ter sido aplicado à lancha em área total, na coleta de solo após oito meses na camada 0–10 cm (Tabela 9).

**Tabela 9.** Teores médios e resumo da análise de variância para P no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade na coleta após 8 e 20 meses da adição de doses de gesso agrícola nos locais de Itakyry e Minga Porá, Paraguai

Dose de gesso	P											
	Local Itakyry (PVad)						Local Minga Porá (LVd)					
	8 meses			20 meses			8 meses			20 meses		
Profundidade (cm)												
	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40	0–10	10–20	20–40
kg ha <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>											
0	29,7	25,7	8,0	31,8	25,5	17,8	26,6	10,2	4,4	28,9	8,9	5,2
100	23,6	12,8	4,6	24,2	17,9	5,9	20,3	7,2	9,0	19,1	5,3	5,5
200	18,3	19,2	8,2	32,4	30,5	7,9	23,7	7,3	5,5	20,5	5,5	3,5
400	21,8	10,9	3,0	36,9	28,4	10,6	40,7	6,8	3,4	39,9	5,2	3,4
800	22,7	16,3	6,7	30,8	22,1	9,6	29,8	11,7	3,7	28,3	15,0	4,6
1600	22,2	18,7	6,9	34,8	32,3	16,9	23,1	7,9	1,8	21,2	6,9	5,4
Média	23,1	17,3	6,2	31,8	26,1	11,5	27,4	8,5	4,6	26,3	7,8	4,6
Valores de F												
F Bloco	0,77 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	4,59 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	2,29 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
F Gesso	1,05 <sup>ns</sup>	2,56 <sup>*</sup>	1,52 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	2,17 <sup>ns</sup>	4,61 <sup>*</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	8,84 <sup>*</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	2,91 <sup>ns</sup>
F Linear	1,45 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	2,08 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	20,9 <sup>*</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>
F Quadrático	2,52 <sup>ns</sup>	5,80 <sup>*</sup>	1,52 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	16,5 <sup>*</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	18,43 <sup>*</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	2,45 <sup>ns</sup>
F Cúbico	0,84 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	4,35 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
CV %	35,3	42,7	59,3	23,1	31,5	44,3	56,7	51,2	80,2	40,8	89,0	36,8
Parametros de regressão												
Local	Coleta	Prof. (cm)	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Ponto de mínima kg ha <sup>-1</sup>	Mínimo da função mg dm <sup>-3</sup>				
Itakyry	8 meses	10–20	20,6	-0,018	1.10 <sup>-5</sup>	0,31	900	12,5				
Itakyry	20 meses	20–40	12,4	-0,012	1.10 <sup>-5</sup>	0,42	600	8,8				
Minga Porá	20 meses	0–10	20,9	-0,03	2.10 <sup>-5</sup>	0,50	750	9,6				

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.

Os valores de saturação por Bases não foram influenciados em função das distintas doses de gesso adicionadas em ambos locais e em nenhuma camada de solo avaliada (Tabela 10). Souza et al. (2012) observaram mínimo efeito na CTC do solo com aplicação do gesso sob dois sistemas de manejo (SC e SPD). Entretanto, Rampin et al. (2011) num Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa observaram aumento na CTC efetiva nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm e aumento na saturação de bases na camada 20–40 m em função do aumento do teor de Ca em profundidade, com doses crescentes de gesso entre 1 a 5 t ha<sup>-1</sup> após seis e doze meses da sua aplicação.

A análise da saturação por Al nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm do solo em IT aos oito e vinte meses permite constatar que a saturação por Al aumenta em profundidade (Tabela 10). Quando comparando às análises de solo aos oito e vinte meses observa-se que na primeira coleta de solo havia menor teor de Al que na segunda coleta. A redução da saturação por alumínio em função das doses de gesso ocorreu somente na camada 0–10 cm aos vinte meses. A dose de 700 kg ha<sup>-1</sup> é a mais indicada para solos com teores menores de 15% de argila, de acordo com a recomendação de Sousa et al. (2005).

Em MP não houve efeito significativo na saturação por Al, variando apenas entre 1 a 5%, nas três camadas aos oito e vinte meses, devido à baixa toxidez de Al com predomínio de valores de pH superiores a 5,5, já como consequência da calagem, com nenhuma interferência das doses de gesso agrícola.

**Tabela 10.** Saturação por Bases, saturação por Al e CTC<sub>pH7</sub> nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm nos dois locais aos 8 e 20 meses após a aplicação do gesso agrícola

Dose de Gesso kg ha <sup>-1</sup>	8 meses						20 meses					
	0–10 cm						10–20 cm					
	Sat Bases		Sat Al		CTC <sub>pH7</sub>		Sat Bases		Sat Al		CTC <sub>pH7</sub>	
	IT	MP	IT	MP	IT	MP	IT	MP	IT	MP	IT	MP
	-----%-----		-----%-----		---cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---		-----%-----		-----%-----		---cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---	
0	59,0 <sup>ns</sup>	73,5 <sup>ns</sup>	4,2 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	4,1 <sup>ns</sup>	9,3 <sup>ns</sup>	41,6 <sup>ns</sup>	69,5 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>	9,5 <sup>ns</sup>
100	57,3	66,9	5,7	1,4	3,9	9,6	39,1	55,9	5,7	2,1	2,3	7,6
200	50,5	67,6	3,3	1,0	3,5	9,0	42,9	61,6	5,3	1,7	2,4	8,2
400	57,2	72,3	3,6	1,1	4,1	9,3	39,1	59,8	6,9	1,1	2,3	8,0
800	46,1	70,7	7,0	0,9	3,1	9,6	37,8	56,6	7,1	2,2	2,2	7,4
1600	59,0	61,7	3,1	1,3	4,5	7,1	43,4	65,4	4,1	1,0	2,4	9,1
Dose de Gesso kg ha <sup>-1</sup>	8 meses						20 meses					
	20–40 cm						20–40 cm					
	Sat Bases		Sat Al		CTC <sub>pH7</sub>		Sat Bases		Sat Al		CTC <sub>pH7</sub>	
	IT	MP	IT	MP	IT	MP	IT	MP	IT	MP	IT	MP
	-----%-----		-----%-----		---cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---		-----%-----		-----%-----		---cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---	
0	33,4 <sup>ns</sup>	66,7 <sup>ns</sup>	19,6 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	29,2 <sup>ns</sup>	63,4 <sup>ns</sup>	14,1 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	1,8 <sup>ns</sup>	7,8 <sup>ns</sup>
100	35,7	52,6	23,6	5,8	3,0	6,2	26,5	47,8	23,9	4,9	1,9	5,7
200	28,8	56,1	24,6	4,5	2,5	6,6	32,3	56,5	14,5	1,3	2,2	7,1
400	30,2	58,2	25,5	2,3	2,6	6,6	35,1	53,6	15,3	2,4	2,2	6,4
800	25,5	57,4	34,3	4,2	2,4	7,0	28,4	52,8	17,1	3,6	1,7	7,0
1600	32,8	54,6	15,0	3,5	3,1	5,9	29,9	64,3	12,9	1,2	1,8	8,2

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.

## CONCLUSÕES

A aplicação de gesso não influenciou nos teores de Al, saturação por bases, saturação por Al e acidez potencial, provocou aumento de acidez ativa tanto no Argissolo e Latossolo até 20 cm de profundidade.

O teor de Ca aumentou linearmente no Argissolo na camada 0–10 cm, e aumentou na camada 10–20 cm a partir de 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso.

O teor de Mg diminuí de forma linear no Argissolo e a partir de 1000 kg ha<sup>-1</sup> na camada 0–10 cm no Latossolo.

As quantidades de 100 a 1600 kg ha<sup>-1</sup> de gesso elevaram linearmente o teor de S nas três camadas avaliadas tanto no Argissolo como no Latossolo.

Houve mobilidade de K até 40 cm no Argissolo e Latossolo.

## REFERÊNCIAS

BISSANI, C. A. ; MEUER, E. J. ; BOHNEN, H. . Solos ácidos e solos afetados por sais. In: Egon José Meurer. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Porto Alegre, 2006, v.1 , p. 163-183.

CAIRES, E.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.; KUSMAN, M. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M.; Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 n.1 p.125–136, 2004.

CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use Management**, v. 27, p. 45–53, 2011a.

CAIRES, E.F.; MASCHIETTO, E.H.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; JORIS, H.A. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Sciencia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 209–216, 2011b.

CAPECO - Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas. 2017. Disponível em: <<http://www.capeco.org.py>>. Acesso em: 07 dez. 2017.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. 2016. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. Ed. Porto Alegre, Brasil. 404p.

DALLA NORA, D., AMADO, T.J.C., Improvement in Chemical Attributes of Oxisol Subsoil and Crop Yields under No-Till. **Agronomy Journal**. v.105, n.5, p.1393-1403. 2013.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L. **Grupo InfoStat**, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. 2011

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ra.ed. Brasília, DF, 2013. 353p.

FONTOURA, S.M.V., BAYER, C.,VIEIRA, R.C.B., MORAES, R.P. de, **Calcário e gesso**. Efeito na produtividade de culturas e na melhoria química do solo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. Guarapuava, PR: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária. 2012.

JIMENEZ, M.; ROSA JUNIOR, E.J.; CHAIN, Y.B.; FERREIRA de SOUZA, L.C; BRITO, C. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Agronomy Acta Scientiarum**, v. 29, supl., p. 701-708, 2007.

KOPPEN, W. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

LANA, M.C.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J.F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. 2da. ed. UNIOESTE, Marechal Cândido Rondón, 2016. 153p.

LÓPEZ G., O.; GONZÁLEZ, E.; DE LLAMAS., P.; MOLINAS, A.; FRANCO S.; GARCÍA, S.; RÍOS, E. **Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay**. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra SSERNMA/MAG/Banco Mundial. Asunción, Paraguay, 1995.

NOIA, N.R.; DAVALO, M.; RIBON, A.A.; WOSNIAK, H. Efeito de doses de gesso nas propriedades químicas do solo. **Acta Iguazu**, v.3, n.4, p. 10-21, 2014.

OLIVEIRA, H.J.; ERNANI, P.R.; AMARANTE, C.V.T. Alteração na composição química das fases sólida e líquida de um solo ácido pela aplicação de calcário e gesso agrícola. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 1, n. 2, 2002.

OLIVEIRA, P.S.R.; FITTIPALDI, W.L.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, P.R.; GUALBERTO, R.; GUIMARÃES, A.M. Efeitos de tipos de preparo do solo e uso de gesso agrícola sobre as características químicas e produtividade de milho e braquiária em cultivo consorciado. **Scientia Agraria Paranaensis** v. 6 n.1-2, p. 53-65, 2007.

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDORFER, G.H.; CAMARGO, M.S. reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p. 849-857, 2006.

RAMPIM, L.; LANA, M.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p. 1687-1698, 2011.

RAIJ, B. 2008. **Gesso na agricultura**. IPNI. International Plant Nutrition Institute. Disponível em: <https://www.ipni.net/ppiweb/brazil>. Acesso em: 3 de dezembro 2017.

RAIJ, B. 2011. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba, BR., IPNI 420p.

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

RHEINHEIMER, D.S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, G.; Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018.



SALDANHA, E.C.M.; ROCHA, A.T.; OLIVEIRA, E.C.A.; NASCIMENTO, C.W.A.; FREIRE, F.J. Uso do gesso mineral em LATOSSOLO cultivado com cana-de-açúcar. **Caatinga**, v.20, n.1, p.36-42, 2007.

SÁVIO, F.L.; SILVA, G.C.; TEIXEIRA, I.R.; MOTA, J.H.; BORÉM, A. Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. **Revista Agrotecnologia**, v.2, n.1, p.19-31, 2011.

SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M. PEREIRA, V.M.; ZEVIANI, W.M.; PESSONI, P.T.; Bragantia, Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p.75-81, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DE SOLO. NUCLEO ESTADUAL PARANÁ. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Examination and description of soils**, In: Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, p. 46–155. 1993.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 675–688, 2008.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M.A.; CRAWFORD, J.W.; FIELD, D.J.; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; COURCELLES, V DE R; DE SINGH, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D.A.; BALDOCK, J.; BIRD, M.; BROOKES, P.C.; CHENU, C.; JASTROW, J.D.; LAL, R.; LEHMANN, J.; O'DONNELL, A.G.; PARTON, W.J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems e Environment**. 164, p. 80–99. 2013.

SOUSA, D.M.; DE LOBATO, E.; REIN, T.A. **Uso do gesso em solos do Cerrado**. Embrapa Cerrados. Circular técnica 32, 2005, 20 p.

SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; JARDIN ROSA, Y.; ZEVIANI, W. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo Gypsum effects on soil chemical properties under two management systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.5, p.1717-1732, 2012.

VICENSI, M.; MÜLLER, M.M.L.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R. do, MICHALOVICZ, L., LOPES, C. Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 40, n. 1, p. 1–17, 2016.

VITTUM, M.T; LATHEWELL, D.J.; GIBBS, G.H. Cumulative effects of irrigation and fertilizer on soil fertility. **Agronomic Journal**. v. 60, p. 563-565, 1968.

WADT, P.G.S. Alterações eletroquímicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agricola**, v.57, p.519-524, 2000.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, p.110-117, 2007.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

#### **4 ARTIGO 2: Resposta da cultura da soja a aplicação de gesso agrícola em sistema semeadura direta no Paraguai**

##### **RESUMO**

A aplicação de gesso em áreas sob semeadura direta pode influenciar as características químicas do perfil do solo e aumentar a produtividade de soja. Assim, esse trabalho foi realizado com objetivo de avaliar o efeito da gessagem na produtividade da soja em plantio direto num Argissolo e Latossolo no Paraguai. Os experimentos foram realizados nos municípios de Minga Porá e Itakyry, usando delineamento de blocos ao acaso, com seis doses de gesso agrícola (0, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco repetições. No local de Minga Porá em junho de 2014 foi aplicado calcário dolomítico na dose de 2500 kg ha<sup>-1</sup> para elevar saturação de bases a 70%. Aplicou-se gesso em superfície em setembro de 2014 e foram avaliadas duas safras de soja (2014/2015 e 2015/2016) e uma de soja safrinha (2015) em Itakyry. Para cada safra foram coletadas amostras de tecido foliar e grãos para determinação dos teores de Ca, Mg, S, P e K. Foi avaliada a massa de mil grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta, número por vagens e produtividade de grãos. Os componentes de rendimento e produtividade de grãos da soja safra e safrinha não foram influenciados pela aplicação de gesso. Exceto pelo teor de Ca no grão da cultura de soja safrinha, os teores de Ca, Mg, S, P e K no grão e também no tecido foliar da soja não foram afetados pela aplicação das doses de gesso em nenhum local e ano agrícola avaliado. Não houve relação entre o teor de S, Ca e Mg disponível, saturação por bases e saturação por alumínio no solo da camada 0–10, 10–20 e 20–40 cm com a produtividade da soja em todos os cultivos avaliados.

Palavras chave: enxofre; gessagem; *Glycine max*; produtividade.

## Response of soybean culture gypsum application in no-tillage system in Paraguai

### ABSTRACT

Paraguay's agriculture is based on soybean cultivation. Gypsum is used to improve soil chemical characteristics and increase crop productivity. The objective was to evaluate the effects of the gypsum in the soybean culture in no-tillage in the Argissolo and Latossolo in Paraguai. The experiment was carried out in the district of Minga Porá and Itakyry, Alto Paraná, Paraguai. A randomized block design with six treatments (0, 100, 200, 400, 800 and 1600 kg ha<sup>-1</sup> of gypsum) and five replications were installed. Gypsum was applied to the surface in September 2014. Two soybean crops (2014/2015 and 2015/2016) and one soybean second (2015) were evaluated. Samples of leaf tissue and grains were collected for determination of Ca, Mg, S, P and K contents. A mass of 1000 grains, number of pods per plant, number of seeds per plant, number and grain yield per pods were evaluated. The data were submitted to analysis of variance and regression. The yield and grain yield components, the Ca, Mg, S, P and K contents in the soybean grain and leaf were not influenced by the gypsum. The Ca content in the soybean crop was increased by the application of gypsum. The grain yield had no relation to the available S, Ca e Mg contents in the soil in the 0–10, 10–20 and 20–40 cm soil layers.

Key words: sulfur; plastering; *Glycine max*; productivity.

### INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é a principal cultura agrícola no Paraguai. Atualmente é cultivada em grande parte do território da Região Oriental, representando 80% da área cultivada com grãos, com previsão de quase 10 milhões de toneladas produzidas em 2017 (Capeco, 2017). Os solos da Região Oriental, em sua maioria Argissolo na sua equivalência (Embrapa, 2013) apresentam níveis médio a baixo de fertilidade com predomínio de solos com teores de enxofre (S) disponível inferiores a 10 mg dm<sup>-3</sup> no solo da camada 0–10 cm (Hahn & Fioretto, 2017).

O S possui função estrutural no metabolismo das plantas, atuando na formação de várias proteínas vegetais e enzimas, na formação da clorofila e promoção da nodulação do

sistema radicular. A soja precisa deste nutriente para obter altas produtividades, apresentando requerimentos de 40 a 50 kg ha<sup>-1</sup> de S com exportação média de 4 a 5 kg por tonelada de grão produzido (Ferreira et al., 2007), no entanto, são escassas as respostas à aplicação de S na cultura da soja em solos com diferentes teores de argila e MO (Tiecher et al., 2012). Contudo, com o aumento de rendimentos das novas cultivares e o uso frequente de fertilizantes concentrados sem S em sua composição, e a expansão da agricultura em áreas de solos arenosos e com baixo teor de MO, pode ocorrer, sob certas condições, limitação na produtividade devido à deficiência de S (Crusciol et al., 2014).

Nas áreas cultivadas sob plantio direto (PD) no Paraguai, os corretivos de acidez são normalmente aplicados na superfície do solo, corrigindo facilmente a acidez do solo nessa camada, mas com limitado efeito na redução do alumínio trocável (Al<sup>3+</sup> tóxico) e no incremento de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) em subsuperfície (Bortoluzzi et al., 2014). A ocorrência de altos níveis de acidez em subsuperfície pode causar restrição ao crescimento radicular, reduzindo a absorção de água, nutrientes e da produtividade das culturas (Zandoná et al., 2015).

Nesse cenário, a aplicação de gesso agrícola, um subproduto da indústria produtora dos fertilizantes fosfatados, tem sido uma alternativa interessante visando melhorar tanto a disponibilidade de nutrientes, quanto problemas de toxidez de Al em subsuperfície. O gesso é uma excelente fonte de Ca (20%) e S (15–18%), além de contribuir com pequenas concentrações de fósforo (P) (0,5–0,8%) (Raij, 2008). Além do seu potencial fertilizante como fonte de macronutrientes, por ser um sal com alta solubilidade, o gesso é comumente comercializado como um condicionador do solo, pois aumenta rapidamente as concentrações de Ca<sup>2+</sup> e sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) em subsuperfície (Neis et al., 2010).

O aumento dessas concentrações pode favorecer o crescimento radicular em profundidade tanto pelo fornecimento dos nutrientes Ca e S, como pela capacidade de diminuir a atividade do Al<sup>3+</sup> do solo em subsuperfície e, conseqüentemente, aliviar sua toxidez às plantas, e também pela promoção do carregamento de outras bases, como Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>, para camadas de solo mais profundas (Saldanha et al., 2007). Por outro lado, a recomendação inadequada desse condicionador em doses extremamente altas aumenta desnecessariamente o custo de produção e pode causar efeitos indesejados, como a excessiva lixiviação de bases trocáveis (Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>), causando deficiências nutricionais e redução da produtividade de soja (Fontoura et al., 2012).

Ainda não existe uma recomendação precisa de critérios de tomada de decisão e de doses a serem utilizadas na aplicação de gesso na cultura de soja (Caires et al., 2011b). Apesar

dos benefícios nas propriedades químicas do solo promovidas pela aplicação de gesso, vários estudos realizados em solos do estado de Paraná, não têm encontrado efeitos significativos de produtividade de soja com aplicação de gesso agrícola em superfície, em plantio direto (Caires et al., 2003; Soratto et al., 2010; Rampin et al., 2011; Neis et al., 2010; Caires et al., 2011b). Existem estudos que indicam efeito benéfico do gesso nos teores foliares, com aumento nas concentrações de Ca, Mg, K e S (Rampin et al. 2011; Moda et al., 2013), porém sem influenciar a produtividade de grãos. Outros estudos destacam que a resposta da soja é observada principalmente em safras com déficit hídrico, devido ao maior crescimento radicular em profundidade nos tratamentos com gesso agrícola (Alcântara et al., 2014). Por fim, alguns estudos apontam ainda que pode haver redução da produtividade de soja com aplicação de doses muito elevadas de gesso agrícola por indução de deficiência de Mg (Pauletti et al., 2014). Como pode ser visto, na literatura brasileira existem vários estudos envolvendo a resposta da soja à gessagem, mas estudos dessa natureza no Paraguai têm alguns; Watanabe (2013) aplicou doses combinadas de gesso agrícola e calcário e Rizzati (2016) aplicou doses até 800 kg ha<sup>-1</sup> de gessagem num Latossolo de Itapúa e Alto Paraná respectivamente.

Considerando que a aplicação de gesso pode aumentar a produtividade de grãos da cultura de soja, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da gessagem na cultura da soja em plantio direto em um Argissolo e um Latossolo do Departamento do Alto Paraná, Paraguai.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Descrição dos locais de estudo*

O experimento foi realizado nos anos agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016, nos municípios de Itakyry e Minga Porá, situadas no Departamento do Alto Paraná, Região Oriental do Paraguai (Figura 1).



**Figura 1:** Localização geográfica das áreas experimentais em Itakyry e Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, Paraguai.

As áreas experimentais situaram-se em fincas de produtores agrícolas locais, com rotações e/o sucessões de culturas de soja/milho no verão e trigo ou planta de cobertura no inverno, utilizadas em sistema de plantio direto há seis e onze anos, respectivamente.

Os solos foram classificados segundo López et al. (1995) como *Rhodic Paleudult* (Itakyry) com textura arenosa e fertilidade média e *Rhodic Kandiodox* (Minga Porá) com textura argilosa e de fertilidade baixa, segundo o sistema Soil Taxonomy (Soil Survey Division Staff, 1993), equivalentes ao Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVad) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), respectivamente, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013).

A caracterização físico-química do solo antes da calagem e três meses antes da instalação dos experimentos é apresentada na Tabela 1. O solo de Itakyry e Minga Porá na camada 0–10 cm apresentava saturação por bases médio (62%) e baixa (41%), e saturação por Al baixa (2%) e alta (20%), respectivamente. Contudo, o solo de ambos os experimentos apresentavam baixa saturação por bases (<31%) e alta saturação por Al (>20%) abaixo de 10 cm de profundidade. Os teores de S nos experimentos estavam próximos ao ideal (9,2 e 7,1 mg dm<sup>-3</sup>), os teores de Ca por abaixo ao teor adequado (2,5 e 2,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e os teores de Mg por acima do teor crítico (1,7 e 1,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) na profundidade de 0–10 cm respectivamente (CQFS/RS-SC, 2016).

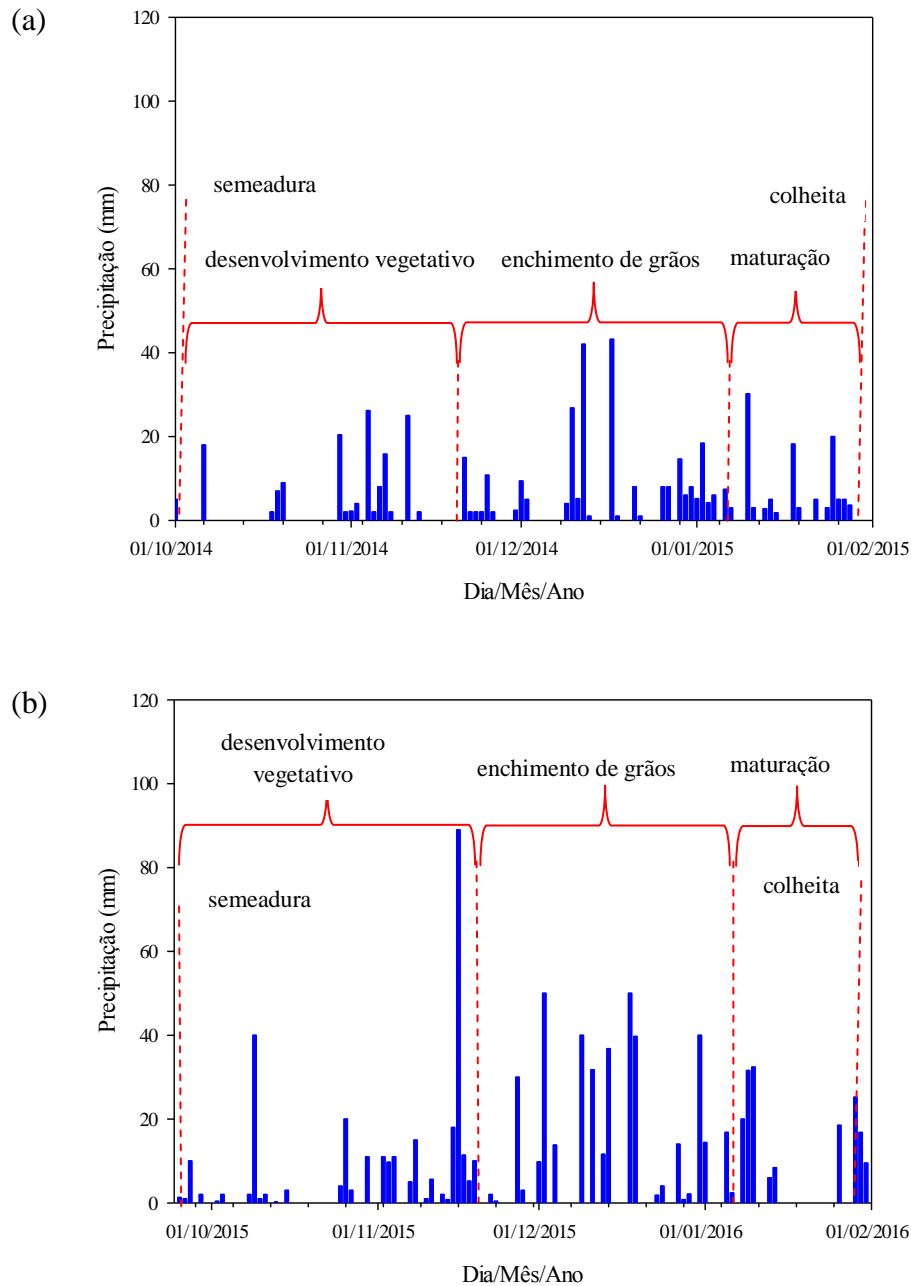
As precipitações médias nos dois locais de estudo a 31 km de distância, no primeiro e segundo ano agrícola foram de 527 e 881 mm, respectivamente, com chuvas bem distribuídas ao longo do período de cultivo da soja (Figura 2), atendendo às necessidades hídricas para a produção máxima, que varia entre 450 a 800 mm por safra (Embrapa, 2003).

**Tabela 1:** Caracterização físico-química do solo antes da aplicação do calcário das camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm em Itakyry e Minga Porá, Departamento do Alto Paraná, Paraguai

Característica	Unidade	Local Itakyry (PVad)			Local Minga Porá (LVd)		
		0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
pH <sup>(1)</sup>		5,7	4,8	4,4	4,7	4,2	4,1
Al <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,0	0,4	0,6	1,2	1,3	1,4
H+Al <sup>(3)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,7	3,7	4,2	6,7	9,7	9,7
Ca <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,5	1,1	0,9	2,6	2,3	2,1
Mg <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,7	0,4	0,3	1,3	0,9	0,7
K <sup>(4)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,30	0,12	0,09	0,70	0,61	0,50
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,6	1,6	1,4	4,7	3,9	3,4
CTC pH7,0	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,3	5,3	5,6	11,4	13,6	13,1
V	%	63	31	24	41	29	26
m	%	2	20	32	21	26	30
MO <sup>(6)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	15	10	7	42	35	20
P <sup>(4)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	28,0	25,5	7,23	26,3	12,4	5,2
S <sup>(5)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	9,2	10,4	12,5	7,1	7,6	8,1
Areia <sup>(7)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	790	860	900	430	420	380
Silte <sup>(7)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	80	40	20	140	130	160
Argila <sup>(7)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	130	90	80	430	450	460

<sup>(1)</sup>pH em CaCl<sub>2</sub>, relação 1:2,5. <sup>(2)</sup>Extrator KCl 1mol L<sup>-1</sup>. <sup>(3)</sup>Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0. <sup>(4)</sup>Extrator Mehlich-1. <sup>(5)</sup>Extrator Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P em HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>. <sup>(6)</sup> Walkley-Black <sup>(7)</sup> Método do densímetro (Lana et al., 2016).





**Fonte:** Fecoprod, 2017.

**Figura 2:** Precipitação pluviométrica mensal ocorrida nos períodos de outubro de 2014 a fevereiro de 2015 (a) e outubro de 2015 a fevereiro de 2016 (b), durante a condução do experimento a campo nos locais de Itakyry e Minga Porá. Departamento de Alto Paraná, Paraguai.

Em Minga Porá, três meses antes da instalação do experimento aplicou-se calcário dolomítico com 90% de PRNT. A aplicação foi realizada à lanço na superfície do solo, na

dose de 2.500 kg ha<sup>-1</sup>, a qual foi calculada para elevar a saturação por bases a 70% na camada de 0–20 cm.

### ***Delineamento e desenho experimental e manejo da cultura da soja***

Em Itakyry e Minga Porá foram avaliadas duas safras de soja (2014/2015 e 2015/2016), e uma de soja safrinha (2015) em Itakyry, utilizando delineamento de blocos ao acaso, com seis doses de gesso agrícola de 0, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kg ha<sup>-1</sup> e cinco repetições. As unidades experimentais mediam 8 × 8 m (64,0 m<sup>2</sup>) totalizando 1.920 m<sup>2</sup> de área total. A aplicação do gesso em superfície em dose única foi realizada em setembro de 2014 sobre palhada de aveia preta em Itakyry e trigo em Minga Porá.

Em Itakyry, a cultivar de soja transgênica SYNGENTA 9070 foi semeada nos dias 4 de outubro de 2014 (safra 2014/2015) e 24 de setembro de 2015 (safra 2015/2016). Em Minga Porá a cultivar de soja INTACTA 6410 foi semeada nos dias 1 de outubro de 2014 (safra 2014/2015) e 30 de setembro de 2015 (safra 2015/2016). O espaçamento entrelinhas utilizado foi de 0,45 m, com 12 sementes por metro linear, numa densidade de 266.664 sementes ha<sup>-1</sup>. Aplicaram-se, em cada safra, 200 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante NPK 4–30–20 na semeadura da soja, como adubação de reposição (Cubilla et al., 2012). Os teores de P e K em ambos locais estiveram com níveis altos.

Antes da semeadura da cultura da soja em todas as safras e locais estudados, foram necessárias tratamentos de sementes com tiametoxan (40 g ia ha<sup>-1</sup>) + clorotalonil (3,5 L ha<sup>-1</sup>) para controlar ataque de insetos (*Elasmopalpus lignosellus*, *Diabrotica speciosa*) e fungos das sementes (*Phomopsis* spp. *Cercospora sojina*, *Fusarium* spp.) e protegê-las contra fungos do solo (*Alternaria solani*, *Colletotrichum* spp.). Durante o ciclo, para controle de ervas invasoras (*Bidens pilosa*, *Commelina ereta*, *Cenchrus echinatus*) das áreas foram realizadas aplicações de glyphosate (1,5 L ha<sup>-1</sup>) e bentazon (1,2 L ha<sup>-1</sup>). Contra o ataque de lagartas (*Anticarsia gemmatalis*, *Pseudoplusia includens*) e percevejos (*Nezara viridula*, *Euschistus heros*) foram aplicadas imidacloprido (75 g ia ha<sup>-1</sup>) tiametoxan (40 g ia ha<sup>-1</sup>). Para o manejo de doenças (ferrugem, mancha-parda da folha, crestamento foliar de cercospora, antracnose) foram realizadas aplicações preventivas de fungicidas com os produtos tebuconazole (100 g ia ha<sup>-1</sup>), carbendazim (0,5 kg ha<sup>-1</sup>) epiconazole (0,5 kg ha<sup>-1</sup>). A soja safrinha foi semeada em 10 de fevereiro de 2015 em Itakyry, sem fertilização de base e utilizando o mesmo manejo fitossanitário da soja de verão.

### *Avaliações*

A produtividade da soja foi estimada em uma área de 8,1 m<sup>2</sup> por parcela. Foram determinados componentes de produtividade de grãos da cultura de soja como altura de plantas, número de grãos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagens, massa de mil grãos e rendimento de grãos. No momento da colheita da cultura foram coletadas amostras de 100 g de grãos de soja para determinação de teores de Ca, Mg, S, P e K (Lana et al., 2016).

Na safra de 2015/16, no início do florescimento foram feitas amostragem de folhas, coletando-se a terceira folha a partir do ápice das plantas, num total de 20 subamostras por parcela, para análise química dos teores de Ca, Mg, S, P, e K (Lana et. al., 2016). Após secagem e moagem, amostras de grãos e folhas foram digeridas em meio ácido utilizando a mistura nítrico-perclórica na proporção 3:1. Em seguida determinou-se os teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e K por emissão de chamas. Os teores de S e P nos extratos foram determinados por turbidimetria e espectrofotometria UV-vis, respectivamente (Lana et al., 2016).

As amostragens foram realizadas oito e vinte meses após a aplicação de gesso, utilizando pá de corte com 3 subamostras por parcela para compor uma amostra composta das camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Após secagem a 50°C e peneiramento a 2 mm, foram determinados o teor de S extraído com fosfato de cálcio (500 mg L<sup>-1</sup> de P em ácido acético (HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>) com posterior determinação pelo método turbidimétrico. Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. O teor de K disponível extraído por Mehlich-1, e determinado por fotômetro de chama. O Al trocável foi determinado por titulação com solução de NaOH 0,015 mol L<sup>-1</sup>; Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica. A acidez potencial (H+Al) foi estimada correlacionando com o valor obtido do pH SMP. Posteriormente foram calculados a saturação por bases (V) com uso da fórmula:  $V (\%) = 100 \times SB/CTC_{pH7,0}$  e a saturação por Al (m) foi obtida pela relação:  $m (\%) = [Al/(SB+Al)] \times 100$  (Lana et al., 2016).

Os valores críticos de S, Ca, Mg, K, V% e m%, foram estabelecidos por CQFS-SC/RS (2016). O gráfico que descreve a variação de RR (eixo y) em relação aos valores de S, Ca, Mg, K, V% ou m% (eixo x) foram definidos considerando a média dos pontos obtidos do RR no experimento, que foi de 85%, calculado considerando a produtividade máxima obtida no

experimento ( $4402 \text{ kg ha}^{-1}$ ), que permitiu uma melhor distribuição dos pontos, de acordo com Cate & Nelson (1971).

### *Análises estatísticas*

Inicialmente submeteram-se os dados à análise de variância para cada local em separado e avaliou-se a razão entre os valores dos quadrados médios dos resíduos dos locais. Como na maioria dos casos a razão foi inferior a 7, de acordo com a recomendação de Pimentel Gomes (2002), optou-se pela análise conjunta dos experimentos, a exceção da soja safrinha em Itakyry, cujos dados foram avaliados de forma independente. Quando os efeitos foram significativos ( $p < 0,05$ ) pelo teste de F, foram ajustadas equações de regressão para as doses de gesso e as diferenças entre os locais de estudo foram comparados pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$ , utilizando o programa INFOSTAT (Di Renzo et al., 2011).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### *Componentes de produtividade de grãos*

Os componentes de produtividade de grãos de soja não foram afetados pela aplicação das doses de 0 a  $1600 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso agrícola nos dois locais estudados (Itakyry e Minga Porá) e em todas as safras avaliadas (safras 2014/2015, 2015/2016 e safrinha 2015) (Tabela 2 e 3). Não foram observadas interações de local  $\times$  gesso, ano  $\times$  gesso e local  $\times$  ano  $\times$  gesso nos dois anos.

A falta de resposta da produtividade da soja às doses de gesso evidencia que os teores de S nesses solos não eram limitantes. O S nativo do solo proveniente da mineralização da matéria orgânica (MO) e a deposição atmosférica de S (Tiecher et al., 2013), podem ter sido suficientes para suprir as necessidades da cultura em ambos locais. Em solos da região Pampeana de Argentina, Gentiletti & Gutiérrez (2004) também não observaram resposta em vários cultivares de soja à fertilização com gesso agrícola em solos com altos teores de MO, como observada num local (MP) deste experimento.

É importante destacar que os efeitos da aplicação de gesso nesse trabalho são de curto prazo (1 a 2 anos após aplicação de gesso). Muitos autores têm observado efeito residual do gesso, com incrementos de produtividade na soja após três (Caires et al., 2011a) e cinco anos

(Sousa et al., 2005), após a aplicação de gesso devido ao processo de migração gradual de  $\text{SO}_4^{-2}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  em subsuperfície. O movimento vertical do gesso no solo está influenciado por vários fatores, o tempo, as doses, forma e método de aplicação, sistema de produção da cultura, características naturais do solo, clima e adição de fertilizantes (Rheinheimer et al., 2018).

**Tabela 2:** Valores médios e valores de F da análise de variância da altura de planta (AP), número de vagens por planta (NVP), número grãos por planta (NGP), número de grão por vagens (NGV), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (RG) da cultura da soja em função de diferentes doses de gesso, considerando média dos locais Itakyry e Minga Porá e média dos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, Departamento do Alto Paraná, Paraguai

Tratamento	AP	NVP	NGP	NGV	MMG	RG
Dose de gesso						
(kg ha <sup>-1</sup> )	m				g	t ha <sup>-1</sup>
0	0,89	67,5	165,3	2,43	140,7	3,80
100	0,85	64,5	159,1	2,45	141,4	3,92
200	0,91	67,5	163,2	2,46	138,9	3,95
400	0,86	67,6	161,0	2,41	139,5	3,88
800	0,91	69,7	171,2	2,44	139,1	3,78
1600	0,89	65,3	160,8	2,44	141,5	4,22
Local						
IT	81,9 b	78,9 a	194,5 a	2,46 a	132,4 b	4,1 a
MP	96,2 a	55,1 b	132,3 b	2,42 a	147,9 a	3,6 b
Ano agrícola						
2014/2015	93,6 a	72,35 a	169,9 a	2,35 b	141,6 a	3,6 b
2015/2016	84,6 b	61,73 b	157,0 b	2,53 a	138,8 b	4,1 a
Fator experimental						
Bloco	0,95 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	1,65 <sup>ns</sup>	2,92 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	1,59 <sup>ns</sup>
Local (L)	106,9*	90,7*	98,1*	3,88 <sup>ns</sup>	176*	30,4*
Ano (A)	39,9*	28,3*	6,95*	223*	7,42*	51,7*
Gesso (G)	1,76 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
Local (L) × G	1,79 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	2,16 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>
Ano (A) × G	1,05 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>
L × G × A	1,01 <sup>ns</sup>	2,08 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>
CV%	8,8	16,3	16,3	2,83	3,94	8,84

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo. As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F a  $p < 0,05\%$ .

Além disso, a ausência de déficit hídrico pode ser apontada também como fator que resultou na falta de resposta da soja à aplicação do gesso (Cherubin et al., 2010). A capacidade do gesso de proporcionar maior desenvolvimento radicular pode condicionar às plantas melhor capacidade de absorção de água de camadas subsuperficiais, diminuindo o

efeito negativo de períodos de stress por falta de água, que não foram observados durante o presente estudo.

Houve diferença entre os locais estudados para todas as variáveis analisadas, exceto o número de grãos por vagens (Tabela 2). O número de vagens por planta e número de grãos por planta foram superiores em Itakyry, o que resultou em uma maior produtividade de grãos, de 4,11 t ha<sup>-1</sup>, cerca de 0,45 t ha<sup>-1</sup> superior à encontrada em Minga Porá. As altas precipitações ocorridas no local Itakyry com textura arenosa (790 g kg<sup>-1</sup> de areia) que apresenta maior macroporosidade, boa drenagem, boa aeração e maior resistência à compactação (Reichert et al., 2009), e além do cultivar utilizado que promoveu uma maior população de plantas sob superfície, provavelmente favoreceram os componentes de produção e produtividade de grãos. A altura de planta e massa de mil grãos foram maiores em Minga Porá, sem influenciar a produção de grãos entre locais.

A soja safrinha apresentou baixa produtividade de grãos com escassa variação entre tratamentos sem influencia da aplicação de gesso agrícola (Tabela 3). Na concentração de nutrientes no grão, a exceção do teor de Ca que aumentou até 4,71 g kg<sup>-1</sup> com aplicação de 750 kg ha<sup>-1</sup> de gesso. Os teores de Mg, K, P e S não foram influenciados.

O rendimento médio da soja safrinha foi 1,78 t ha<sup>-1</sup>, 43% inferior comparado à soja de verão, com rendimento máximo de apenas 1,93 t ha<sup>-1</sup>, com, na produtividade O baixo potencial de produtividade da soja safrinha pode-se considerar normal. A incidência de altos índices de ataque de pragas e doenças, diminuição de horas luz que afetam o fotoperíodo, e ocasionalmente as temperaturas situam-se abaixo de 20°C, geralmente provoca limitações no crescimento devido a condições climáticas não adequadas para seu desenvolvimento.

**Tabela 3:** Valores médios de altura de planta (AP), número de vagens por planta (NVP), número grãos por planta (NGP), número de grão por vagens (NGV), massa de mil grãos (MMG), rendimento de grãos (RG), teor de Ca, Mg, K, P e S no grão da cultura da soja safrinha em função a diferentes doses de gesso, em Itakyry para o ano 2015, Departamento do Alto Paraná, Paraguai

Gesso	AP	NVP	NGP	NGV	MMG	RG	Ca	Mg	K	P	S
kg ha <sup>-1</sup>	m				g	t ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>				
0	0,59	48,9	114	2,4	129	1,79	3,6	2,5	16	4,4	3,6
100	0,62	47,5	99	2,3	126	1,93	3,6	2,1	17	4,7	3,5
200	0,65	48,1	111	2,3	125	1,80	3,9	2,7	16	4,6	3,7
400	0,63	54,2	116	2,3	125	1,70	4,5	2,7	17	4,5	3,6
800	0,65	50,3	110	2,2	126	1,80	3,8	2,6	17	4,6	3,6
1600	0,60	45,7	106	2,3	128	1,66	3,2	2,3	17	4,6	3,8
Fator experimental											
Bloco	1,43 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	4,3 <sup>*</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>
Gesso	1,31 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	1,4 <sup>*</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>
CV%	7,4	17,8	17,3	8,75	3,45	10,7	21,1	20,8	6,45	12,7	8,7
Parâmetros de regressão Ca no grão											
Variável	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	Ponto de máxima	kg ha <sup>-1</sup>	Máxima da função kg ha <sup>-1</sup>				
Ca grão	3,65	0,0015	-1.10 <sup>-6</sup>	0,62	750		4,71				

\*= significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.; ns = não significativo

Os componentes de rendimento e produtividade da soja também foram diferentes em cada ano agrícola (Tabela 2). A média do rendimento de grãos entre locais e tratamentos foi de 4,12 t ha<sup>-1</sup> na safra 2015/2016, superior à ocorrida na safra 2014/2015 de 3,67 t ha<sup>-1</sup>, já como consequência da alteração dos atributos químicos, aumentando a fertilidade química do solo.

#### *Teores de nutrientes no tecido foliar e grão*

Os teores dos nutrientes Ca, Mg, S, P e K nas folhas de soja no florescimento da safra 2015/2016 não foram influenciados pelas doses de gesso aplicadas (Tabela 4).

**Tabela 4:** Valores médios de teores foliares de Ca, Mg, S, P e K na cultura da soja, em função de diferentes doses de gesso considerando a média dos locais Itakyry e Minga Porá para o ano agrícola 2015/2016, Departamento do Alto Paraná, Paraguai

Tratamentos	Ca	Mg	S	P	K
Dose de gesso (kg ha <sup>-1</sup> )	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
0	12,4	7,4	3,1	3,3	17,8
100	14,7	8,2	3,2	3,2	17,8
200	11,3	7,6	4,2	3,3	18,6
400	14,2	8,5	3,2	3,2	18,3
800	12,4	7,9	3,4	3,4	17,8
1600	12,6	7,5	4,3	3,4	17,7
IT	8,0 b	8,6 a	4,0 a	3,4 a	16,5 b
MP	16,8 a	7,1 b	3,0 b	3,2 a	18,6 a
Fator experimental					
Bloco	3,79 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
Local (L)	64,3 <sup>*</sup>	20,4 <sup>*</sup>	0,03 <sup>*</sup>	3,75 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>*</sup>
Gesso (G)	4,29 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>
Local (L) × G	3,07 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
CV%	14,9	21,4	38,4	15,5	18,8

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo. As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F.

A ausência de efeito pode estar relacionada aos altos conteúdos desses nutrientes no solo, mesmo no tratamento testemunha (Tabela 1) mantendo-se sempre em níveis considerados suficientes para a cultura (CQFS-SC/RS, 2016). Esses resultados estão de acordo com Savio et al. (2011) e Pauletti et al. (2014), que também não observaram alterações significativas na concentração de Ca, Mg, S, P, K e Mg no tecido foliar da soja com o uso de gesso.

Em ambos locais e anos agrícolas avaliados na soja safra, não houve efeito dos teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos em função das doses de gesso aplicadas em superfície. As interações entre doses, local e ano também não foram significativas. As médias de concentração desses nutrientes também estavam dentro da faixa considerada normal para a cultura (CQFS-SC/RS 2016) (Tabela 5).

A concentração de S no grão, independente da dose de gesso, variou entre 2,73 e 2,94 g kg<sup>-1</sup>, considerados adequados para obter 90% de rendimento relativo máximo (Hitsuda et al., 2004). A condição climática favorável para a cultura ocorrida durante o experimento, e alta disponibilidade de nutrientes no solo, facilitou o acúmulo de nutrientes no grão, diminuindo a probabilidade de resposta à gessagem. A concentração de K no grão da cultura de soja foi maior em Minga Porá (18,0 g kg<sup>-1</sup>) do que em Itakyry (16,5 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 5),



possivelmente devido ao maior teor de K no solo nesse local (0,70 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) que favoreceu maior acúmulo do nutriente no grão.

**Tabela 5:** Teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos da cultura da soja, em função de diferentes doses de gesso, considerando média dos locais Itakyry e Minga Porá e a média dos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, Departamento do Alto Paraná, Paraguai

Tratamentos	Ca	Mg	S	P	K
Dose de gesso					
kg ha <sup>-1</sup>	-----		g kg <sup>-1</sup>	-----	
0	4,54	2,66	2,73	5,29	15,34
100	4,75	2,76	2,89	5,23	15,68
200	4,99	2,75	2,88	5,40	15,13
400	4,72	2,73	2,92	5,22	14,70
800	4,64	2,61	2,84	5,25	14,81
1600	5,06	2,63	2,94	5,15	15,02
Local					
IT	4,68 a	2,69 a	2,91 a	4,95 a	14,21 a
MP	4,19 b	2,30 b	2,43 b	4,77 a	13,44 b
Ano agrícola					
2014/2015	5,36 a	2,80 a	3,27 a	5,07 a	16,85 a
2015/2016	4,20 b	2,59 a	2,46 b	5,25 a	13,04 b
Fator experimental					
Bloco	3,36*	0,55 <sup>ns</sup>	1,26*	3,11*	1,71 <sup>ns</sup>
Local (L)	0,42*	0,09*	1,15*	4,25 <sup>ns</sup>	18,5*
Ano (A)	41,8*	7,6 <sup>ns</sup>	180*	1,36 <sup>ns</sup>	4,53*
Gesso (G)	0,85 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
Local (L) × G	0,59 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>
Ano (A) × G	0,66 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>
L × G × A	0,57 <sup>ns</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>
CV%	20,6	13,8	11,4	17,8	9,61

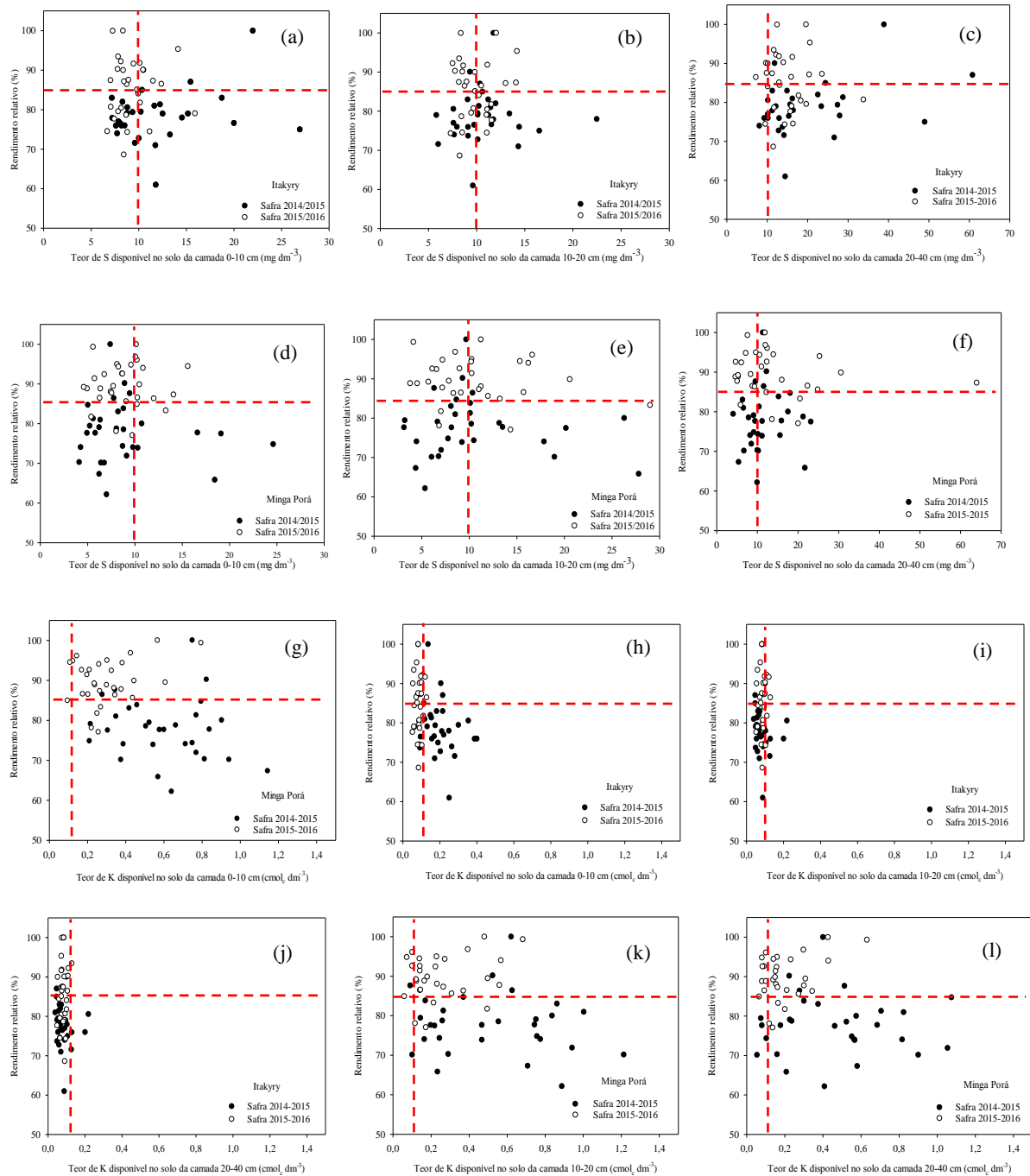
\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo. As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F

### *Relação de produtividade com parâmetros químicos do solo*

Não houve relação entre os teores críticos de S no solo de acordo a CQFS/RS-SC (Figura 3), da camada 0–10, 10–20 e 20–40 cm com rendimento relativo da soja em todos os cultivos avaliados. Isso demonstra que a produtividade da soja não foi limitada pelos teores de S, mesmo quando o solo apresentou teores de S disponível menores que 10 mg kg<sup>-1</sup> nas três camadas. A falta de correlação pode estar relacionada ao fato de que o teor de S não era limitante para a cultura em ambos locais, que apresentaram teores superiores de 15 g k<sup>-1</sup> em IT e 42 g kg<sup>-1</sup> em MP de MO no solo (Tabela 1). A MO é um importante constituinte

nutricional do solo, ao servir de fonte de nutrientes, atua como reserva de S, já que ao sofrer mineralização forma o  $\text{SO}_4^{2-}$ , assimilado pelas plantas.

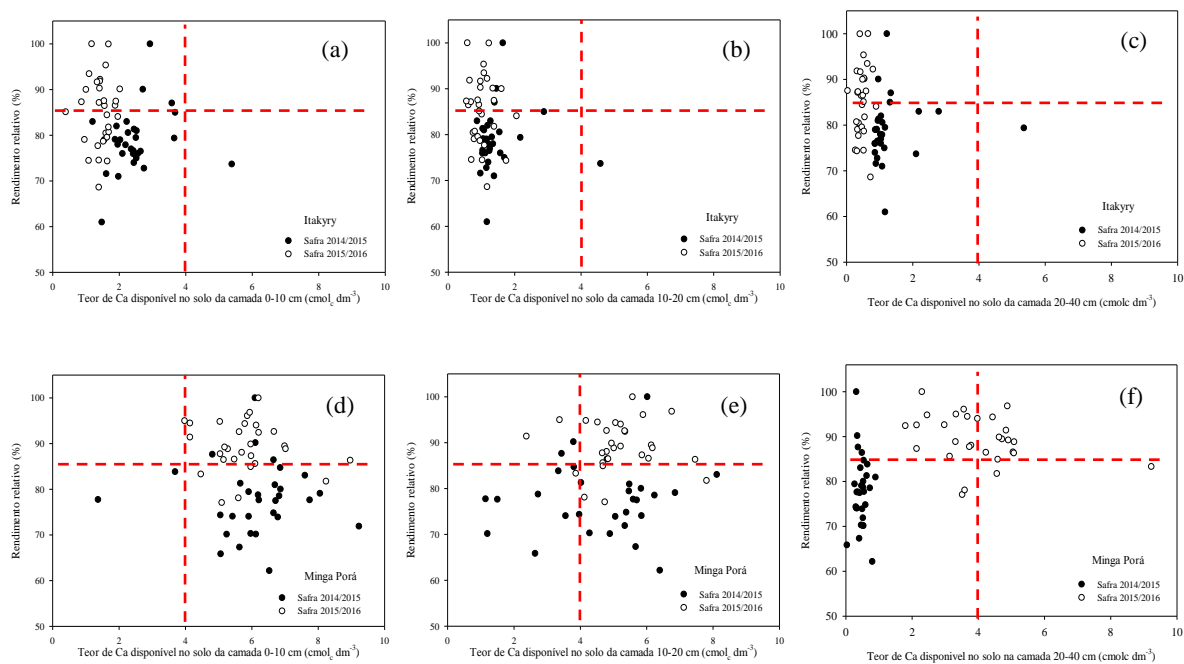
A disponibilidade de teores de K (Figura 3) nas camadas 0–10 cm 10–20 cm e 20–40 cm em IT (Argissolo) foram, maiormente inferiores ao teor crítico de  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , e em MP (Latossolo) observou-se o contrário, teores de K superiores a  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , ambos sem mostrar relação com o rendimento relativo da cultura de soja.

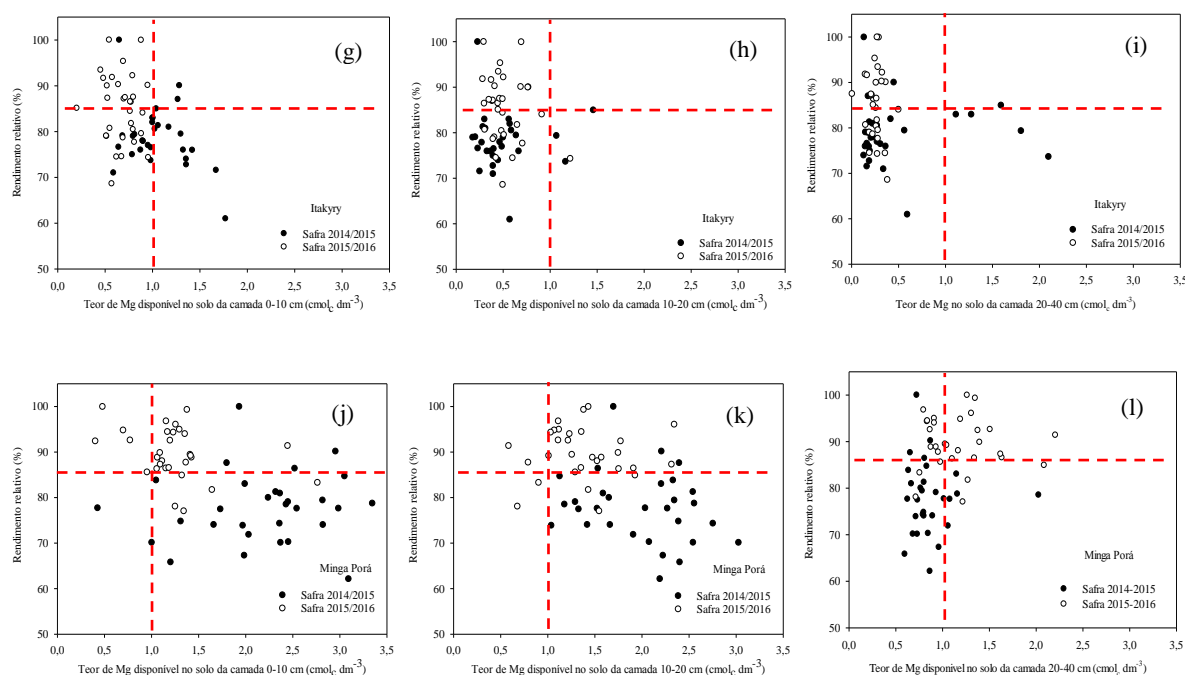


**Figura 3:** Relação entre teor de enxofre (S) e teor de potássio (K) disponível no solo nas camadas de 0–10 cm 10–20 cm e 20–40 cm e o rendimento relativo da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em um Argissolo de Itakyry (a, b, c, g, h, i) e um Latossolo de Minga Porá (d, e, f, j, k, l) Departamento de Alto Paraná, Paraguai. Linha pontilhada vertical indica o nível crítico de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de S, e nível crítico de  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de K, linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 85%.

Os teores críticos de Ca (Figura 4) no solo não apresentaram relação com rendimento relativo da soja nas três profundidades avaliadas nos locais, porem a produtividade da cultura foi superior na safra 2015/2016 mesmo quando os teores de Ca estiveram por abaixo de  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Neste trabalho não foi possível observar os efeitos da gessagem na elevação nos teores de Ca no perfil do solo, a exceção da camada 20–40 cm de MP, onde aumentou a concentração. Vários trabalhos citam a elevação nos teores de Ca trocável do solo sob influência da gessagem (Caires et al., 2004; Joris et al., 2007; Crusciol, et al., 2011).

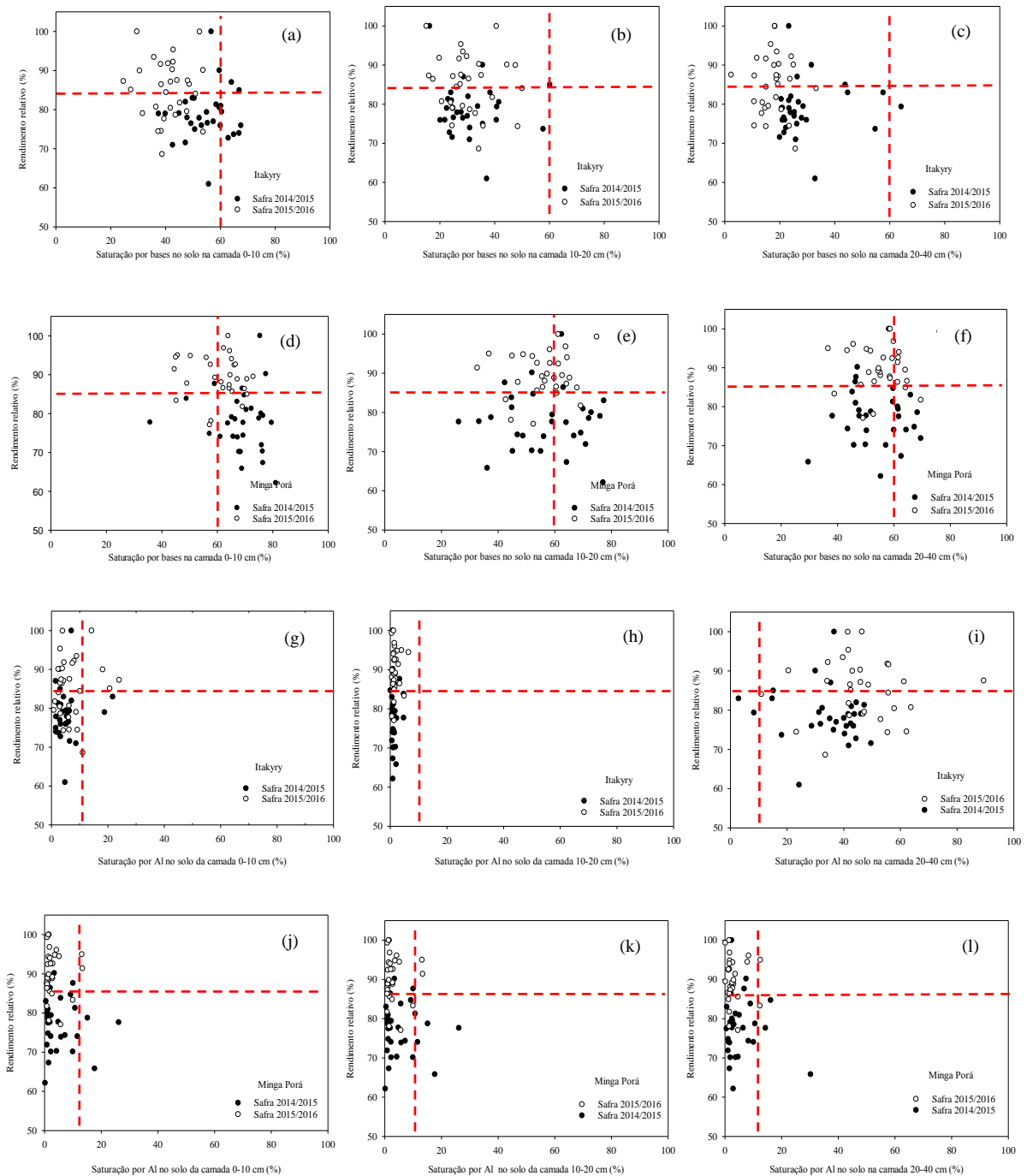
Os teores de Mg no solo (Figura 4) nas camadas 0–10 cm 10–20 cm e 20–40 cm e o rendimento relativo da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em um Argissolo de IT e um Latossolo de Minga Porá não tiveram relação, nem foram influenciados pela aplicação do gesso agrícola.





**Figura 4:** Relação entre teor de cálcio (Ca) e teor de magnésio (Mg) disponível no solo das camadas de 0–10 cm 10–20 cm e 20–40 cm e o rendimento relativo da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em um Argissolo de Itakyry (a, b, c, g, h, i) e um Latossolo de Minga Porá (d, e, f, j, k, l) Departamento de Alto Paraná, Paraguai. Linha pontilhada vertical indica o nível crítico de  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca e nível crítico de  $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg; e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 85%.

Não houve relação entre os teores críticos da saturação por bases e saturação por Al (Figura 5) de acordo a CQFS/RS-SC (2016) no solo com o rendimento relativo da soja em todos as culturas avaliadas, mesmo quando o solo apresentou saturação por bases menor que 60% e saturação por Al maior que 10% das camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm. O acrescentamento de saturação de bases acontece pelo aumento dos teores de Ca e Mg no solo, não observada neste experimento. A saturação por Al foi mínima, próxima a zero, relacionadas a ausência de toxidez do Al no solo (Tabela 1).



**Figura 5:** Relação entre saturação por bases (V) e saturação por Al (m) nas camadas de 0–10 cm 10–20 cm e 20–40 cm e o rendimento relativo da soja nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, em um Argissolo de Itakyry (a, b, c, g, h, i) e um Latossolo de Minga Porá (d, e, f, j, k, l) Departamento de Alto Paraná, Paraguai. Linha pontilhada vertical indica o nível crítico de 60% de saturação por bases e 10% de saturação por Al; e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 85%.

## CONCLUSÕES

Os componentes de produção e produtividade de grãos da soja safra e safrinha não foram influenciados pela aplicação de doses de gesso de 0 a 1600 kg ha<sup>-1</sup> em um Argissolo e um Latossolo do Departamento do Alto Paraná, Paraguai.

O teor de Ca no grão da soja safrinha aumentou para 4,71g kg<sup>-1</sup> com 750 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, mas os teores de Mg, S, P e K não foram influenciados, enquanto que os teores de Ca, Mg, S, P e K na folha da soja não foram afetados pela aplicação das doses de gesso em nenhum local e ano agrícola avaliados.

Os teores críticos de S, Ca e Mg disponível, saturação por bases e saturação por alumínio no solo das camadas 0–10, 10–20 e 20–40 não se correlacionaram com o rendimento relativo da soja em todos os cultivos avaliados.

## REFERÊNCIAS

Alcântara J, Cardoso GC & Lambert RA. (2014) Influência da aplicação de calcário e gesso na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, 18:1980-1988.

Bortoluzzi, EC, Parize, GL, Korchagin, J, Rodrigues V, Rheinheimer D & Kaminski J (2014) Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38: 262-271.

Capeco - Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas (2017) Disponível em: <<http://www.capeco.org.py.htm>>. Acessado em: 3 de julho de 2017.

Caires, EF, Joris HAW & Churka S (2011a) Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. Soil Use Manage, 27:45-53.

Caires E, Garbuió F, Churka S & Joris H (2011b) Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. Agronomy Journal, 103:1804-1814

Caires E, Kusman MT, Barth G, Garbuió FJ & Padilha JM (2004). Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 28(1): 125-136.

Cate RB & Nelson LA (1971) A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Science Society of America Journal, 5:658-660.

Cherubin MR (2010) Influência da aplicação de gesso agrícola na produtividade da cultura de soja em Latossolo. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia. Anais, XXXIII CBCS. p.1-3.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. Ed. Porto Alegre, 2016.

Crusciol CA, Nascente A, Mateus GP & Borghi LE (2014) Intercropping soybean and palisade grass for enhanced land use efficiency and revenue in a no till system. *European Journal of Agronomy*, 58:53-62.

Crusciol CA, Garcia RA, Castro GS & Rosolem CA (2011) Nitrate role in basic cation leaching under no-till. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35 (1): 1975–1984,

Cubilla MM, Wendling A, Eltz, FL, Amado TJ, Mielniczuk J (2012) Recomendaciones de Fertilización para Soja, Trigo, Maíz y Girasol Bajo el Sistema de Siembra Directa en el Paraguay. CAPECO, Asunción, Paraguay. 88p

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG & Gonzalez, L (2011) Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3ed. Brasília, 353p.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2003) Recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Dourados, 60p.

Fecoprod - Federación de Cooperativas de Producción. *Agroclimate Fecoprod*. Disponível em: <<http://fecoprod.agroclimate.org>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

Ferreira NR; Alvarez VH, Barros FN de, Fontes RL, Cantarutti RB & Lima NJC (2007) Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 1017p.

Fontoura, SM, Bayer, C, Vieira, RC & Moraes RP (2012) Calcário e gesso. Efeito na produtividade de culturas e na melhoria química do solo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. Guarapuava-PR: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 34p.

Gentiletti A & Gutiérrez, FH (2004) Fertilización azufrada del cultivo de soja en el Centro-Sur de Santa Fe. *Informaciones agronómicas*, 24:1-9.

Hahn E, Fioretto C (2017) Fertilidad de los suelos de la Región Oriental. In: Hahn E (Org.) Diagnóstico de la Fertilidad de los suelos de la Agricultura Familiar paraguaya: Región Oriental. Asunción, Paraguay, Atlas, cap. 12, p. 177- 191.

Hitsuda K, Sfredo G & Klepker D (2004) Diagnosis of sulfur deficiency in soybean using seeds. *Soil Science Journal*, 68:1445-1451.

Joris H, Caires E, Churka S, Pereira Filho P & Zardo Filho R (2007) Alterações no solo e comportamento sucessão milho-trigo-soja em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo* (30): 87-98.

Lana MC, Fey R, Frandoloso JF, Richart A & Fontaniva S (2016) Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório. 2da. ed. UNIOESTE, Marechal Cândido Rondón, 153p.

López GO, González E, De Llamas P, Molinas A, Franco S, García S & Ríos E (1995) Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra. SSERNMA/MAG/Banco Mundial. Asunción, 51p.

Moda LR, Borges BM, Flores RA, Dos Santos CL; Prado RM & Sousa JI (2013) Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. *Revista Agro@ambiente*, 7:129-135.

Neis L, Paulino HB, De Souza EM, Dos Reis OF & Pinto FA (2010). Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:409-416.

Pimentel Gomes F (2002). *Estadística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos*. Piracicaba: FEALQ, v. 11. 309 p.

Pauletti, V, Pierri LD, Ranzan T, Barth G & Motta AC (2014) Long-term effects of the application of gypsum and lime in a no-till system. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 38:495-505.

Raij, B (2008) Gesso na agricultura. IPNI. International Plant Nutrition Institute. Disponível em: <https://www.ipni.net/ppiweb/brazil>. Acesso em: 3 de dezembro 2017.

Rampim L, Lana MC, Frandoloso JF & Fontaniva S (2011). Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 35:687-1698.

Rheinhermer D, Tales T, Gonzatto R, Mohsin Z & Brunetto, G (2018) Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a longterm experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. *Geoderma*, 313: 7-16.

Reichert JM, Suzuki LE, Reinert, DJ, Horn R & Håkansson I (2009) Reference bulk density and critical degree-of compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil & Tillage Research*, 102:242-254.

Rizzatti A (2016) Yeso agrícola aplicado en el cultivo de maiz y su residualidad en la soja. 60 p. Tesis de Grado (Carrera de Ingeniería Agronómica) Universidad Nacional del Este, Facultad de Ingeniería Agronómica, Itakyry.



Saldanha EC, César E, Tavares Da Rocha, A, Almeida De Oliveira E, Nascimento WC & Freire FJ (2007) Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana de açúcar. *Revista Caatinga*, Mossoró, 20(1): 36-42.

Sávio FL, Silva GC, Teixeira IR, Mota JH & Borém A (2011) Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. *Revista Agrotecnologia*, 2:19-31.

Soil Survey Division Staff (1993) Examination and description of soils, In: *Soil Survey Manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, 46- 155.

Soratto RP, Crusciol, CA & Mello F (2010) Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. *Bragantia*, 69:965-974.

Sousa DM, de Lobato E & Rein TA (2005) Uso do gesso em solos do Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, (Embrapa Cerrados - Circular técnica, 32) 20 p.

Tiecher T, Rheinheimer DS, Rasche JW, Brunetto G, Mallman FJ & Piccin R (2012) Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetida à adubação sulfatada. *Bragantia*, 20:1-10.

Tiecher T, Rheinheimer D, Rasche JW, Mallmann FJ, Piccin R & Brunetto G (2013) Respostas de culturas à adubação sulfatada e deposição de enxofre atmosférico. *Revista Ceres*, 60:420-427.

Watanabe S. Aplicación de yeso y cal agrícola en la sucesión soja – trigo en siembra directa en un Ultisol (2013) 103 p. (Disertación – Maestría en Suelos y Ordenamiento Territorial) – Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, San Lorenzo, Paraguay.

Zandoná RR, Beutler NA, Burg GM, Barreto CF & Schmidt MR (2015) Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45:128-137.

## 5 ARTIGO 3: Resposta do milho safrinha a aplicação de gesso agrícola em sistema semeadura direta no Paraguai

### Resumo

A aplicação de gesso em áreas sob plantio direto pode melhorar as características químicas do perfil do solo e aumentar a produtividade do milho. Esse trabalho foi realizado com objetivo de avaliar a resposta da cultura do milho safrinha à aplicação de gesso em plantio direto num Latossolo do Paraguai. Em junho de 2014 foi aplicado calcário dolomítico na dose de 2500 kg ha<sup>-1</sup> para elevar a saturação por bases a 70%. O experimento foi realizado no município de Minga Porá, usando delineamento de blocos ao acaso, com seis doses de gesso agrícola (0, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco repetições. Aplicou-se gesso em superfície em setembro de 2014 e foram avaliadas duas safras de milho safrinha (2015 e 2016). Nas duas safras foram coletadas amostras de grãos e na safra 2016 foram também coletadas amostras de tecido foliar para determinação dos teores de Ca, Mg, S, P e K. Foi avaliada altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de espigas, comprimento da espiga, número de fileira de grãos por espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm para análise de atributos de acidez e disponibilidade de S, K, Ca e Mg. Os componentes de produtividade de grãos de milho safrinha não foram influenciados pela aplicação de gesso. Os teores foliares de Ca e S foram incrementados, o teor de Mg diminuiu e os teores de P e K não foram influenciados pela gessagem. Os teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos não foram influenciados pela aplicação de gesso. Não houve relação entre os teores de S, K, Ca e Mg disponíveis, saturação por bases e saturação por Al no solo da camada 0–10, 10–20 e 20–40 cm com a produtividade de milho safrinha.

Palavras-chave: enxofre; gessagem; produtividade de grãos; *Zea mays L.*

### Abstract

The application of gypsum under no-tillage areas can improve the chemical characteristics of the soil profile and increase maize productivity. This work was carried out with the objective of evaluating response of corn to off-season culture gypsum application in no-tillage in the Latossolo in Paraguai. In June 2014 dolomite limestone was used at a dose of 2500 kg ha<sup>-1</sup> to

raise the base 70% saturation. The experiment was conducted in the district of Minga Porá, using a randomized block design with six doses of gypsum (0, 100, 200, 400, 800 and 1600 kg ha<sup>-1</sup>) and five replicates. Gypsum was applied to the surface in September 2014 and two maize crops were evaluated (2015 and 2016). In the two crops, grain samples were collected and in the 2016 crop, leaf tissue was also sampled to determine the Ca, Mg, S, P, and K levels. Plant height, spike insertion height, stem diameter, number of spikes, spike length, number of rows of grain per spike, mass of a thousand grains and grain yield. Soil samples were taken in the 0–10, 10–20 and 20–40 cm soil layers for analysis of acidity parameters and S, K, Ca and Mg availability. The yield and yield components of maize were not influenced by the application of gypsum. The foliar contents of Ca and S were increased, the Mg content decreased and the contents of P and K were not affected by the gypsum rates. The contents of Ca, Mg, S, P, and K in the grains also were not influenced by the application of gypsum. There was no relationship between the available content of S, K, Ca and Mg, base saturation and Al saturation of the 0–10, 10–20 and 20–40 cm soil layer with the grain yield of maize in the two crops evaluated.

Key words: sulfur; gypsum; productivity grain; *Zea mays*

## **Introdução**

A cultura do milho (*Zea mays* L.) possui a segunda maior área agrícola de produção no Paraguai. Na safra 2016/2017 (safra e safrinha) alcançou pouco mais de um milhão de hectares, com produtividade média de 4,57 t ha<sup>-1</sup> e uma produção total de 4,5 milhões de toneladas de grãos. Possui uma grande importância econômica, social e nutricional para o País, considerada por muitos anos como uma cultura de subsistência. Porém, a abertura do comércio internacional e aumento da rentabilidade transformou o milho em uma cultura conduzida em vários sistemas, impulsionado principalmente pela agricultura mecanizada (CAPECO, 2017).

Os solos da região Oriental do Paraguai são geralmente ácidos, apresentam baixos teores de Ca e Mg e altos teores de Al trocável (FATECHA et al., 2017). Nessas áreas sob plantio direto (PD) existe a necessidade de aplicação de corretivos da acidez, sendo o calcário o principal insumo utilizado, proporcionando condições favoráveis para o crescimento radicular e absorção de água e nutrientes (SORATTO; CRUSCIOL, 2008). Porém, em curto

prazo, os efeitos da calagem superficial ficam restritos às camadas superficiais do solo e por consequência, o crescimento radicular e a nutrição de plantas podem ser severamente comprometidos, especialmente em condições de deficiência hídrica (ZOCA; PENN, 2017).

Nesse cenário, o gesso agrícola tem sido utilizado em áreas sob SPD no Brasil para minimizar os problemas de acidez em subsuperfície como complemento à calagem. Composto principalmente de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) apresenta solubilidade 150 vezes maior que o calcário (MASCHIETTO, 2009). Quando aplicado em superfície movimenta-se rapidamente no perfil do solo, aumentando o suprimento de Ca e S e diminuindo a atividade do  $\text{Al}^{3+}$  em camadas de solo mais profundas. A aplicação de gesso agrícola isoladamente tem melhorado rapidamente as condições de fertilidade do solo e o ambiente radicular em subsuperfície, permitindo maior eficiência na absorção de água e nutrientes (OLIVEIRA et al., 2009).

Apesar do conhecimento dos efeitos da aplicação de gesso nos atributos químicos do solo, ainda não estão bem estabelecidas às condições ou culturas em que se podem esperar efeitos favoráveis da sua aplicação na produtividade de grãos. Poucos estudos têm encontrado resposta da soja à aplicação de gesso (CAIRES et al., 2006, 2011a, 2011b; NEIS et al., 2010; RAMPIM et al., 2011; PAULETTI et al., 2014) mas muitos tem encontrado resposta positiva com a cultura do milho (CAIRES et al., 2011a, 2011b, 2016; MICHALOVICZ et al., 2014; PAULETTI et al., 2014; ZANDONÁ et al., 2015; VICENSI et al., 2016). Incrementos em produtividade do milho foram inclusive verificados em solos com baixa saturação por Al e altos teores de Ca (PAULETTI et al., 2014) e com interação com aplicação de calcário (DALLA NORA et al., 2014), muitas vezes utilizando doses pequenas de gesso agrícola ( $616 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (RODRIGUEZ, 2016).

A aplicação de gesso em áreas de PD pode proporcionar um maior desenvolvimento do sistema radicular e, por conseguinte, acréscimos na produção de culturas no sistema mecanizado, principalmente, em áreas com culturas de safrinha, as quais estão mais susceptíveis a ocorrência de déficits hídricos (ZANDONÁ et al., 2015). Portanto, espera-se que a aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em superfície em PD promova o aumento na produtividade de milho safrinha no Paraguai. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da cultura do milho safrinha à aplicação de gesso em SD num Latossolo de textura argilosa no Alto Paraná, Paraguai.

## **Material e Métodos**

### Descrição do local de estudo

O experimento foi realizado nos meses de fevereiro a junho de dois anos agrícolas (2015 e 2016), no município de Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, Paraguai (Figura 1).



**Figura 1.** Localização geográfica da área experimental. Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, Paraguai.

A área experimental situa-se em finca de produtor agrícola local, com rotação e/o sucessão de culturas de soja/milho no verão e trigo ou planta de cobertura no inverno, utilizadas em sistema de plantio direto há onze anos.

O solo foi classificado, segundo López et al. (1995), como Rhodic Kandiodox com textura argilosa e de fertilidade baixa, equivalente ao Latossolo Vermelho Distróférrico (LVd) no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2013). A caracterização físico-química do solo antes da instalação do experimento e da aplicação de calcário é apresentada na Tabela 1. O solo nas camadas 0–10 cm, 10–20 cm e 20–40 cm apresentaram saturação por bases baixa (41, 29 e 26%, respectivamente), saturação por Al alta (21, 26 e 30%, respectivamente), teores de S baixos (7,1; 7,6 e 8,1 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente), teores de Ca

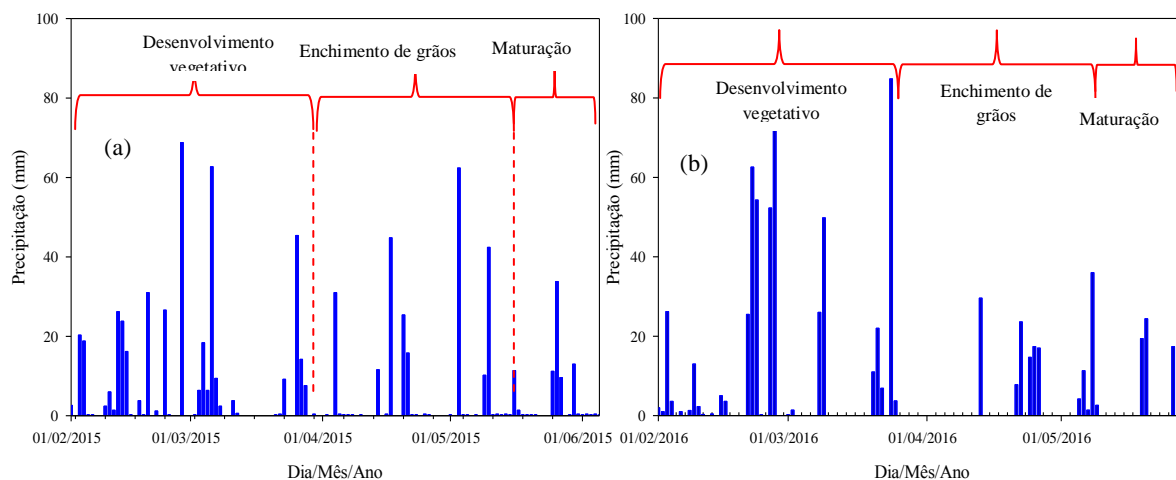
baixos (2,6; 2,3 e 2,1  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  respectivamente) e teores de Mg médio a baixo (1,3; 1,0 e 0,75  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  respectivamente) (CQFS/RS-SC, 2016).

**Tabela 1.** Resultado da análise química e física do solo da área experimental nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade

Característica	Unidade	Profundidade da camada de solo (cm)		
		0–10	10–20	20–40
pH <sup>(1)</sup>		4,73	4,22	4,10
Al <sup>(2)</sup>	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	1,25	1,35	1,45
H+Al <sup>(3)</sup>	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	6,74	9,73	9,80
Ca <sup>(2)</sup>	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	2,66	2,31	2,10
Mg <sup>(2)</sup>	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	1,30	1,03	0,75
K <sup>(4)</sup>	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	0,70	0,61	0,50
SB	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	4,75	3,93	3,40
CTC <sub>pH7,0</sub>	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	11,4	13,6	13,1
V	%	41	29	26
m	%	21	26	30
Matéria orgânica <sup>(7)</sup>	$\text{g kg}^{-3}$	42	35	20
P <sup>(4)</sup>	$\text{mg dm}^{-3}$	26,3	12,4	5,2
S <sup>(5)</sup>	$\text{mg dm}^{-3}$	7,1	7,6	8,1
Areia <sup>(6)</sup>	$\text{g kg}^{-3}$	430	420	380
Silte <sup>(6)</sup>	$\text{g kg}^{-3}$	140	130	160
Argila <sup>(6)</sup>	$\text{g kg}^{-3}$	430	450	460

<sup>(1)</sup> pH em  $\text{CaCl}_2$ , relação 1:2,5. <sup>(2)</sup> Extrator KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ . <sup>(3)</sup> Extrator acetato de Ca 0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  pH 7,0. <sup>(4)</sup> Extrator Mehlich-1. <sup>(5)</sup> Extrator  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  500 mg  $\text{L}^{-1}$  de P em HOAc 2 mol  $\text{L}^{-1}$  <sup>(6)</sup> Método do densímetro <sup>(7)</sup> Walkley-Black (Lana et al., 2016).

Köppen (1931) classifica o clima na região como Cfa, subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. A temperatura média anual é 22 °C e a precipitação média anual é de 1.770 mm. Durante o período do experimento, registraram-se precipitações nos meses de fevereiro a junho de 2015 e 2016, de 768 mm e 656 mm, respectivamente, com chuvas bem distribuídas ao longo do período de cultivo do milho, observadas na Figura 2 (FECOPROD, 2017), atendendo satisfatoriamente os requerimentos hídricos da cultura de 550 a 800 mm (RIVETTI, 2007).



Fonte: FECOPROD (2017)

**Figura 2.** Precipitação pluviométrica mensal ocorrida nos períodos de fevereiro de 2014 a maio de 2015 (a) e fevereiro de 2015 a maio de 2016 (b), durante a experimentação a campo. Minga Porá. Departamento de Alto Paraná, Paraguai.

Em junho de 2014 aplicou-se calcário dolomítico com 90% de PRNT. A aplicação foi realizada à lanço na superfície do solo, sem incorporação na dose de  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ , a qual foi calculada para elevar a saturação por bases a 70% no perfil do solo.

#### *Delineamento experimental e manejo da cultura de milho safrinha*

Foram avaliadas duas safrinhas de milho (2015 e 2016), utilizando delineamento de blocos ao acaso, com seis doses de gesso agrícola de 0, 100, 200, 400, 800 e  $1.600 \text{ kg ha}^{-1}$  e cinco repetições. As unidades experimentais mediam  $8 \times 8 \text{ m}$  ( $64 \text{ m}^2$ ) totalizando  $1.920 \text{ m}^2$  de área total. A aplicação do gesso em superfície em dose única foi realizada em setembro de 2014 sobre palhada de trigo.

O híbrido PIONEER 4285 de ciclo de 138 dias, recomendado para as terras altas para safrinha, foi semeada nos dias 4 de fevereiro de 2015 (safra 2015) e 30 de janeiro de 2016 (safra 2016), após o cultivo da soja. O espaçamento entrelinhas utilizado foi de 0,80 m, com 5 sementes por metro linear, numa densidade de  $62.500 \text{ sementes ha}^{-1}$ . Foi aplicado, em cada safra,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, com  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  na semeadura e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em cobertura no estágio V4, utilizando ureia (45% de N) como fonte nitrogenada de acordo a recomendação de Cubilla et al. (2012). P e K não foram aplicados na semeadura, visando aproveitar a adubação

residual realizada na cultura anterior (soja) que consistiu em 200 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante NPK de formulação 4–30–20, no momento da semeadura no sulco de semeadura.

As sementes de milho foram tratadas com imidacloprid (125 g 100 kg<sup>-1</sup> de sementes) e thiodicarb (700 g 100 kg<sup>-1</sup> de sementes) e carboxin + thiram (0,35 L 100 kg<sup>-1</sup> semente) para controlar ataque de insetos (*Dalbulus maidis*, *Diabrotica speciosa*) e fungos das sementes (*Phomopsis* spp., *Fusarium* spp.) e protegê-las contra fungos do solo (*Alternaria solani*, *Colletotrichum* spp.). Não houve manejo de plantas invasoras na cultura em função do estabelecimento do consórcio com *Brachiaria ruziziensis* com fins de cobertura em todos os tratamentos, semeada conjuntamente com a cultura. Para o controle de pragas (*Spodoptera frugiperda*, *Dichelops melacanthus*, *Rhopalosiphum maidis*) tanto no primeiro e segundo ano foram realizadas duas aplicações de inseticidas, endosulfan 35% (1,5 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> do i.a.) e cipermetrina (60 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> do i.a.). Contra doenças como mancha branca, cercosporiose, ferrugem foram aplicadas tebuconalozol (750 mL ha<sup>-1</sup>), azoxystrobin (300 mL p.c. ha<sup>-1</sup>) e epoxiconazol + piraclostrobina (0,5 L ha<sup>-1</sup>).

### Avaliações

As colheitas foram realizadas em dia 5 de junho de 2015 (safra 2015) e 28 de maio de 2016 (safra 2016). A produtividade do milho safrinha foi estimada em área de 7,2 m<sup>2</sup> por parcela. Foram determinados componentes de rendimento como altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de espigas, comprimento da espiga, número de fileira de grãos por espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos.

Na safra de 2016, no início do florescimento da cultura foram feitas amostragem de 20 folhas por parcela, coletadas no terço médio da folha oposta e abaixo da primeira espiga, sem excluir a nervura central, por ocasião da inflorescência feminina (CQFS/RS-SC, 2016), para análise química dos teores de Ca, Mg, S, P e K.

No momento da colheita da cultura foram coletadas amostras de 100 g de grãos de milho para determinação de teores de Ca, Mg, S, P e K (LANA et al., 2016).

Amostras de solo foram coletadas após a colheita do milho. As amostragens foram realizadas oito e vinte meses após a aplicação de gesso, utilizando pá de corte com 3 subamostras por parcela para compor uma amostra composta das camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Após secagem a 50°C e peneiramento a 2 mm, foram determinados o teor de S extraído com fosfato de cálcio (500 mg L<sup>-1</sup> de P em ácido acético (HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>) com



posterior determinação pelo método turbidimétrico. Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. O Al trocável foi determinado por titulação com solução de NaOH 0,015 mol L<sup>-1</sup>; Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica. O teor de K disponível extraído por Mehlich-1, e determinado por fotômetro de chama. A acidez potencial (H+Al) foi estimada correlacionando com o valor obtido do pH SMP. Posteriormente foram calculados a saturação por bases (V) e a saturação por Al (m) de acordo com Lana et al. (2016).

Os valores críticos de S, Ca, Mg, K, V% e m%, foram estabelecidos por CQFS-SC/RS (2016). O gráfico que descreve a variação de rendimento relativo (eixo y) em relação aos valores de S, Ca, Mg, K, V% ou m% (eixo x) foram definidos considerando a média dos pontos obtidos do RR no experimento, que foi de 65%, calculado considerando o rendimento máximo obtido no experimento ( 7,6 t ha<sup>-1</sup>), que permitiu uma melhor distribuição dos pontos, de acordo com Cate & Nelson (1971).

### *Análises estatísticas*

Inicialmente submeteram-se os dados à análise de variância para cada ano em separado e avaliou-se a razão entre os valores dos quadrados médios dos resíduos dos anos. Como na maioria dos casos a razão não foi superior a 7, de acordo com a recomendação de Pimentel Gomes (2002), optou-se pela análise conjunta do experimento. Quando os efeitos foram significativos ( $p < 0,05$ ) pelo teste de F, foram ajustadas equações de regressão para as doses de gesso e as diferenças entre os anos de estudo foram comparados pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$ , e também foram realizadas análise de correlação simples de Pearson entre as variáveis avaliadas, utilizando o programa INFOSTAT (Di RENZO et al., 2011).

## **Resultados e Discussão**

### *Componentes de produtividade de grãos*

Os componentes de produtividade de grãos do milho safrinha não foram influenciados pela aplicação das doses de 0 a 1600 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola nas safras avaliadas (2015 e 2016) (Tabela 2). Não foi observada interação entre os fatores ano e dose de gesso nas duas safras (Tabela 2). O teor inicial de S no solo não foi limitante na produtividade do milho,

sendo superior ao teor crítico da cultura de  $5 \text{ mg dm}^{-3}$  da camada 0–10 cm (CQFS-RS-RS, 2016), e favorecido pelos altos teores de matéria orgânica do solo (MO) que pode contribuir para aumentar o teor de S disponível pela mineralização da MO. Ferraris et al. (2004) afirmam que geralmente a resposta a S acontece em solos com teores baixos de MO, e quase nulo histórico de adubação com S.

Além disso, a ausência de déficit hídrico impossibilitou resposta ao gesso (Figura 2). As maiores respostas do milho à gessagem sempre foram observadas em condições de déficit hídrico em solos com elevada acidez subsuperficial (CAIRES et al., 2006). O aumento de produtividade das culturas em resposta à aplicação de gesso agrícola tem sido mais frequentemente observado em áreas com saturação por Al prejudicial ( $> 20\%$ ) e/ou teor de Ca baixo ( $< 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) no solo da camada 20–40 cm (SOUSA et al., 2005).

Estatisticamente os componentes de produtividade de grãos do milho safrinha foram diferentes nas duas safras avaliadas (Tabela 2). Na safra 2016 as variáveis de altura de inserção da espiga, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos apresentam valores superiores em comparação à safra 2015. A produtividade média da safra 2016 ( $6,14 \text{ t ha}^{-1}$ ) foi superior em  $1,86 \text{ t ha}^{-1}$  a encontrada na safra 2015 (Tabela 2). Provavelmente o efeito da aplicação antecipada do calcário e depois com a aplicação do gesso realizado no início do experimento, melhoraram alguns atributos químicos do solo, entre eles o pH, permitindo maior disponibilidade e absorção de nutrientes pela cultura de milho com reflexos na produtividade (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

**Tabela 2.** Valores médios de altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE) diâmetro do colmo (DC), comprimento da espiga (CE), número de fileira por grãos (NFG), diâmetro da espiga (DE), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (RG) da cultura de milho safrinha em função das doses de gesso e os anos agrícolas 2015 e 2016. Minga Porá, Alto Paraná, Paraguai

Tratamento	AP (m)	AIE (m)	DC (mm)	CE (cm)	DE (mm)	NFG	MMG (g)	RG (t ha <sup>-1</sup> )
Dose de gesso (kg ha <sup>-1</sup> )								
0	1,8	0,86	20,7	17,1	42,1	13,6	300	4,89
100	1,9	0,84	21,1	15,6	41,6	13,5	300	5,36
200	1,9	0,82	21,2	16,4	41,7	13,5	309	5,92
400	1,8	0,79	20,0	15,5	41,1	13,1	288	4,99
800	1,8	0,87	20,6	16,1	41,9	13,4	282	5,06
1600	1,9	0,85	20,3	15,5	41,8	13,5	292	5,04
Ano agrícola								
2015	1,8 a	0,7 b	20,2 a	14,8 b	41,0 b	13,1 a	266 b	4,28 b
2016	1,9 a	1,0 a	21,1 a	17,3 a	42,6 a	13,3 a	323 a	6,14 a
Fator experimental								
Bloco	141 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	1,52 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>
Ano (A)	0,09 <sup>ns</sup>	9,38 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>	52,6*	43,7*	1,35 <sup>ns</sup>	190*	36,9*
Gesso (G)	1,15 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	1,26 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>
A × G	1,24 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	2,35 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>
CV%	4,31	20,0	6,39	10,8	3,88	3,95	7,21	21,6

\*significativo em nível de 5%, pelo teste F; ns = não significativo em nível de 5% pelo teste F. As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F (P<0,05).

A produtividade de grãos de milho apresentou correlação positiva com diâmetro de colmo e massa de mil grãos, coincidindo com Rockenbach et al. (2017) e Repke et al. (2013) que observaram mesma correlação resultando em maior produtividade de grãos. A produtividade de grãos considerando dados de duas safras apresentou correlação negativa com altura de inserção da espiga, explicado que à medida que aumenta a produtividade de grãos diminui a altura da inserção da espiga. A altura de inserção da espiga é um caráter de natureza quantitativa, diretamente relacionada à tolerância ao acamamento (LI et al., 2012). Contudo, não houve correlação entre a produtividade de grãos de milho e a altura final de planta, número de espiga, comprimento de espiga, diâmetro de espiga e número de fileiras por espiga (Tabela 3).

**Tabela 3.** Correlações simples de Pearson para rendimento de grãos versus valores médios de altura final de planta (AFP), altura de inserção da espiga (AIE) diâmetro do colmo (DC), número de espigas (NE) comprimento da espiga (CE) número de fileira de grãos (NFG), diâmetro da espiga (DE), massa de mil grãos (MMG) da cultura de milho safrinha em função de diferentes doses de gesso agrícola e os anos agrícolas 2015 e 2016. Minga Porá, Alto Paraná, Paraguai

	Componentes de produtividade de grãos							
	AFP	AIE	DC	NE	CE	NFG	DE	MMG
Produtividade	0,05 <sup>ns</sup>	-0,64*	0,41*	0,23 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,64*

\* significativo a nível 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

#### *Teores de nutrientes no tecido foliar e grão*

Os teores foliares de Ca (Figura 3a) e S (Figura 3b) aumentaram linearmente com as doses de gesso aplicada. Em todos os tratamentos os teores de Ca e S estiveram na faixa considerada adequada para esses nutrientes (CQFS/RS-SC, 2016) (Tabela 4). O incremento desses elementos nos teores foliares era esperado neste experimento, visto que o gesso é fonte direta desses nutrientes, corroborando com os resultados obtidos por Caires et al. (2011b).

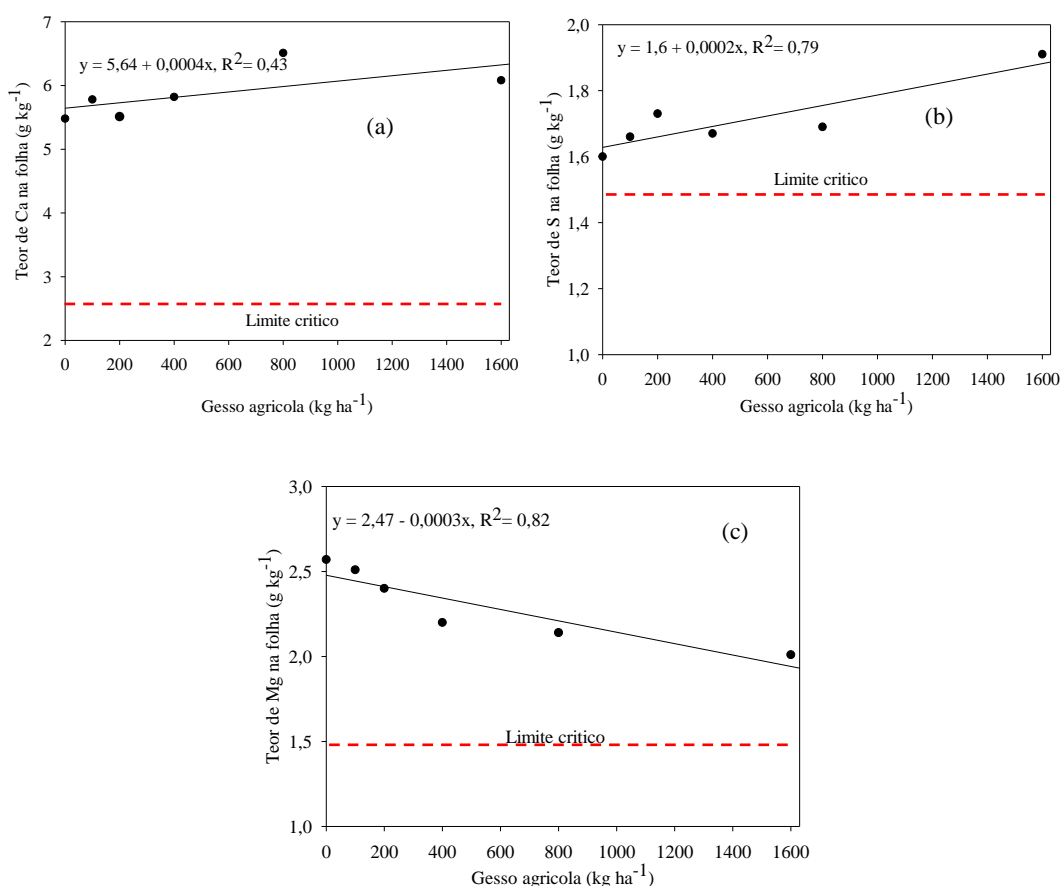
Os teores foliares de Mg mantiveram-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho (1,5–5,0 g kg<sup>-1</sup>) em todos os tratamentos (CQFS/RS-SC, 2016) (Figura 3c, Tabela 4). O teor foliar de Mg diminuiu com as doses de gesso agrícola, passando de 2,6 g kg<sup>-1</sup> no tratamento testemunha, para cerca de 2,0 g kg<sup>-1</sup> no tratamento com a maior dose de gesso agrícola (Figura 2c). Outros trabalhos também têm verificado que altas doses de gesso podem diminuir a concentração de Mg na folha do milho devido à lixiviação de Mg trocável no solo causado pela competição do Ca pelos sítios de troca do solo, prejudicando assim a absorção do nutriente pelas plantas (CAIRES et al., 2004).

A baixa absorção de Mg ocorre também devido à competição do Ca pelos transportadores das plantas (MOREIRA et al., 1999). As células vegetais estão carregadas negativamente e o elemento mais rapidamente absorvido reduz a carga eletrostática para os demais cátions, dependendo do mecanismo de absorção e concentração de íons na solução do solo (MENGEL; KIRKBY, 2000). Os teores de P e K no tecido foliar do milho não foi influenciado pelas doses de gesso aplicadas, e mantiveram-se acima dos níveis adequados para a cultura (CQFS/RS-SC, 2016) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Teores foliares de Ca, Mg, S, P e K na cultura de milho safrinha, em função a diferentes doses de gesso e valores médios de F da análise de variância. Minga Porá. Ano 2016. Paraguai

Tratamento	Ca	Mg	S	P	K
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Dose de gesso kg ha <sup>-1</sup>					
0	5,48	2,57	1,60	3,22	25,40
100	5,78	2,51	1,66	3,26	25,02
200	5,51	2,40	1,73	3,40	23,72
400	5,82	2,20	1,67	3,54	23,10
800	6,51	2,14	1,69	3,31	22,38
1600	6,08	2,01	1,91	3,40	22,98
Bloco	3,06 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>	2,55 <sup>ns</sup>	2,48 <sup>ns</sup>
Gesso (G)	5,03*	0,98*	5,21*	0,98 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>
CV%	11,1	22,4	13,6	9,22	16,3

\*significativo em nível de 5%, pelo teste F; ns = não significativo em nível de 5% pelo teste F.



**Figura 3.** Teores foliares de Ca (a), S (b) e Mg (c) da cultura do milho em função das doses de gesso. Ano 2016. Minga Porá, Alto Paraná, Paraguai.

O rendimento de grãos na cultura de milho safrinha não mostrou correlação com os teores foliares da cultura (Tabela 5).

**Tabela 5.** Correlações simples de Pearson para produtividade de grãos versus teores de Ca, Mg, S, P e K no tecido folhar da cultura do milho safrinha, em função a diferentes doses de gesso, considerando média dos anos agrícolas 2015 e 2016. Minga Porá. Alto Paraná. Paraguai.

	Teor de nutriente no tecido foliar				
	Ca	Mg	S	P	K
Produtividade	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>

\* significativo a nível 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

Os teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos de milho não foram afetados pelas doses de gesso aplicadas (Tabela 6), sendo que a concentração de Ca, Mg, S e K estão abaixo das faixas de suficiência de macronutrientes (CQFS/RS-SC, 2016). Os teores de Ca e S no grão foram similares nas duas safras avaliadas (Tabela 7), mas a concentração de Mg, P e K foi maior nos grãos do segundo cultivo de milho.

**Tabela 6.** Teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos da cultura do milho safrinha afetados pelas doses de gesso e ano agrícola. Ano 2016. Minga Porá, Alto Paraná, Paraguai.

Dose de gesso (kg ha <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	S	P	K
0	1,56	1,04	1,00	5,30	2,20
100	1,64	1,20	0,94	5,78	2,51
200	1,39	1,33	0,99	6,07	2,65
400	2,04	1,37	0,92	5,97	2,57
800	1,63	1,08	0,98	5,70	2,32
1600	1,79	1,28	0,92	5,90	2,43
Ano agrícola					
2015	1,84 a	1,03 a	0,94 a	5,15 a	2,06 a
2016	1,51 a	1,40 b	0,96 a	6,44 b	2,85 b
Fator experimental					
Bloco	2,44 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>
Ano (A)	1,24 <sup>ns</sup>	40,19*	2,39 <sup>ns</sup>	81,3*	51,7*
Gesso (G)	0,90 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>
A x G	1,58 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>
CV%	44,0	30,7	14,5	13,38	22,0

\*significativo em nível de 5%, pelo teste F; ns = não significativo em nível de 5% pelo teste F. As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de F (P<0,05).

O rendimento de grãos mostrou correlação positiva significativa com o acúmulo de Mg e P no grão de milho safrinha, explicando que a medida que aumenta a absorção de Mg e P no grão, aumenta a produtividade. O gesso não é fonte de Mg e P, por tal não favoreceria a absorção desses nutrientes no grão. Os teores de Ca, S e K não mostraram correlação à produtividade de grãos (Tabela 7).

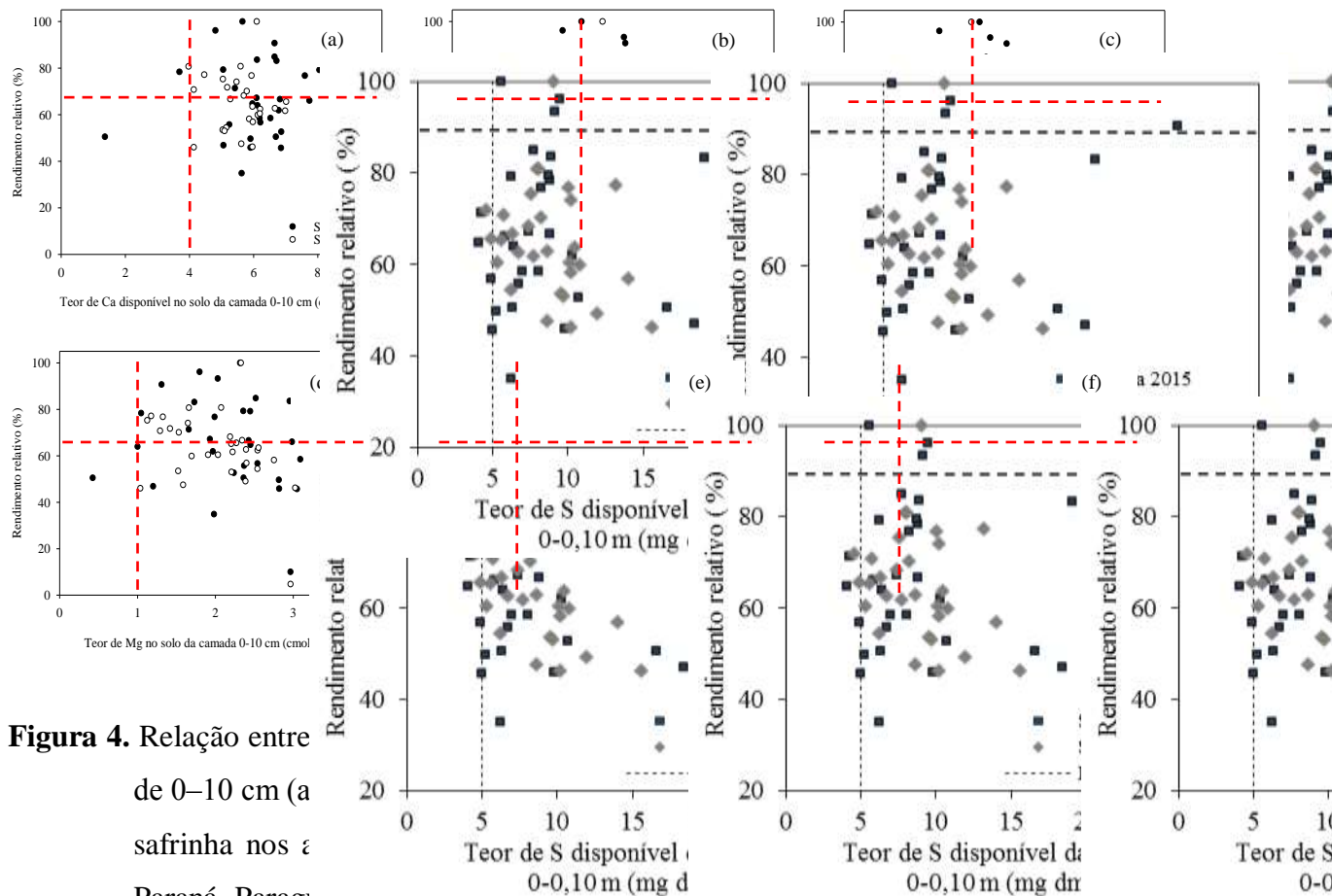
**Tabela 7.** Correlações simples de Pearson para produtividade de grãos versus teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos da cultura do milho safrinha, em função a diferentes doses de gesso, considerando média dos anos agrícolas 2015 e 2016. Minga Porá. Paraguai.

	Teor de nutriente no grão				
	Ca	Mg	S	P	K
Produtividade	-0,26 <sup>ns</sup>	0,53*	-0,17 <sup>ns</sup>	0,50*	-0,16 <sup>ns</sup>

\* significativo a nível 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo.

#### *Relação de produtividade com parâmetros químicos do solo*

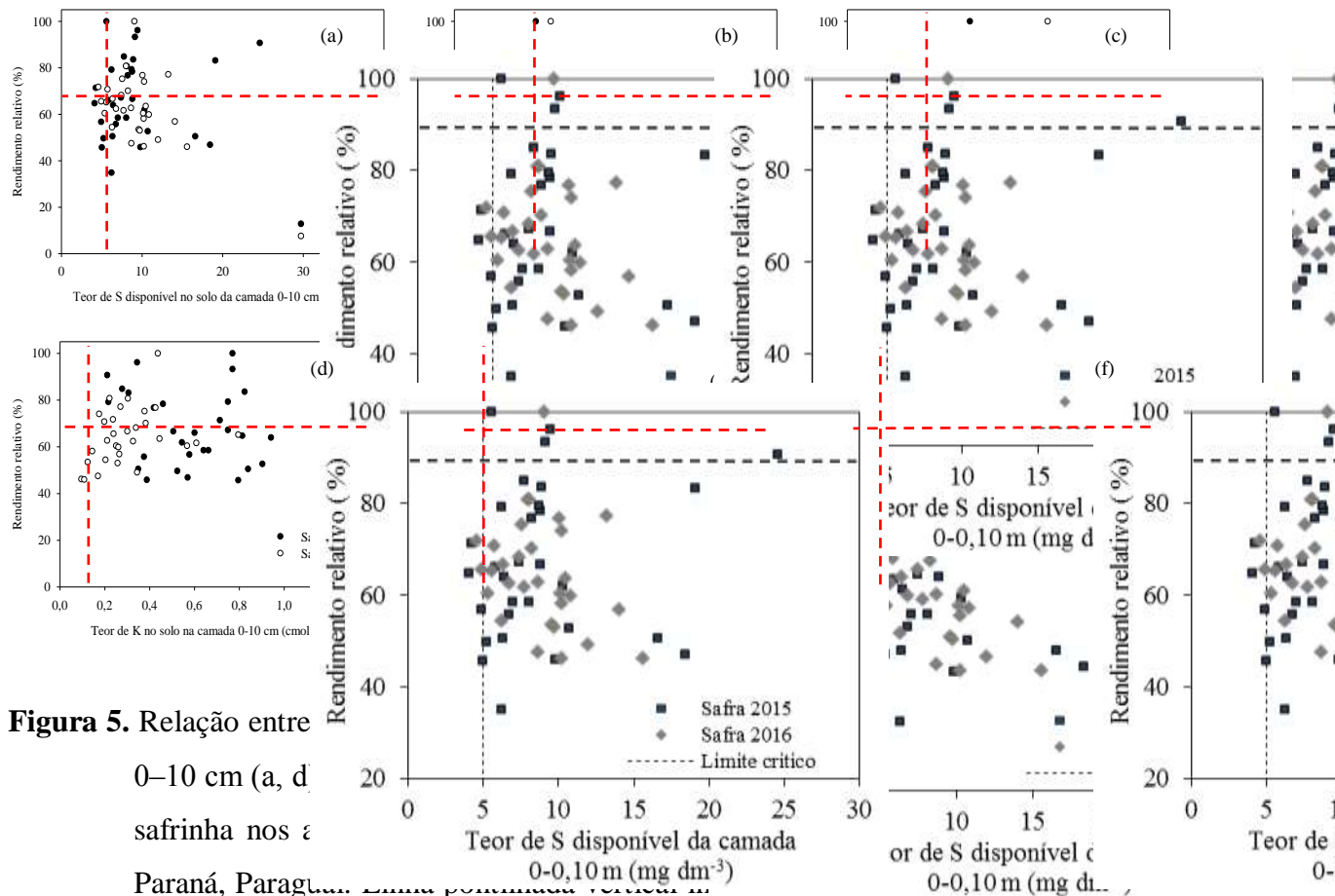
Não houve relação entre os teores de Ca e Mg disponíveis no solo (Figura 4) das camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm com rendimento relativo do milho nas duas safras avaliadas. Isso indica que a produtividade do milho não foi limitada pelos teores de Ca e Mg disponíveis no solo mesmo quando o solo apresentou teores menores que 4,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e 1,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  respectivamente, considerado o limite crítico para cultura segundo recomendação da CQFS-RS/SC (2016) nas três camadas avaliadas.



**Figura 4.** Relação entre rendimento relativo do milho safrinha nos anos 2015 e 2016 e teor de nutrientes disponíveis no solo da camada 0–10 cm em um solo de cerrado em Ponta Grossa, Paraná, Paraguai. Linha pontilhada vertical indica o nível crítico de 4,0 mg dm<sup>-3</sup> de Ca e 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 65%.

Igualmente os teores de S e K disponíveis no solo (Figura 5) das camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm não apresentaram relação com rendimento relativo do milho safrinha nas safras 2015 e 2016. Os teores de S mantiveram-se por acima do nível crítico para a cultura de 5,0 mg dm<sup>-3</sup> de solo (CQFS/RS-SC, 2016), diminuindo consideravelmente a possibilidade de resposta. Em tanto o K, mesmo quando o solo apresentou tenores menores ao nível crítico de 0,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, os rendimentos de grãos não foram influenciados.





**Figura 5.** Relação entre

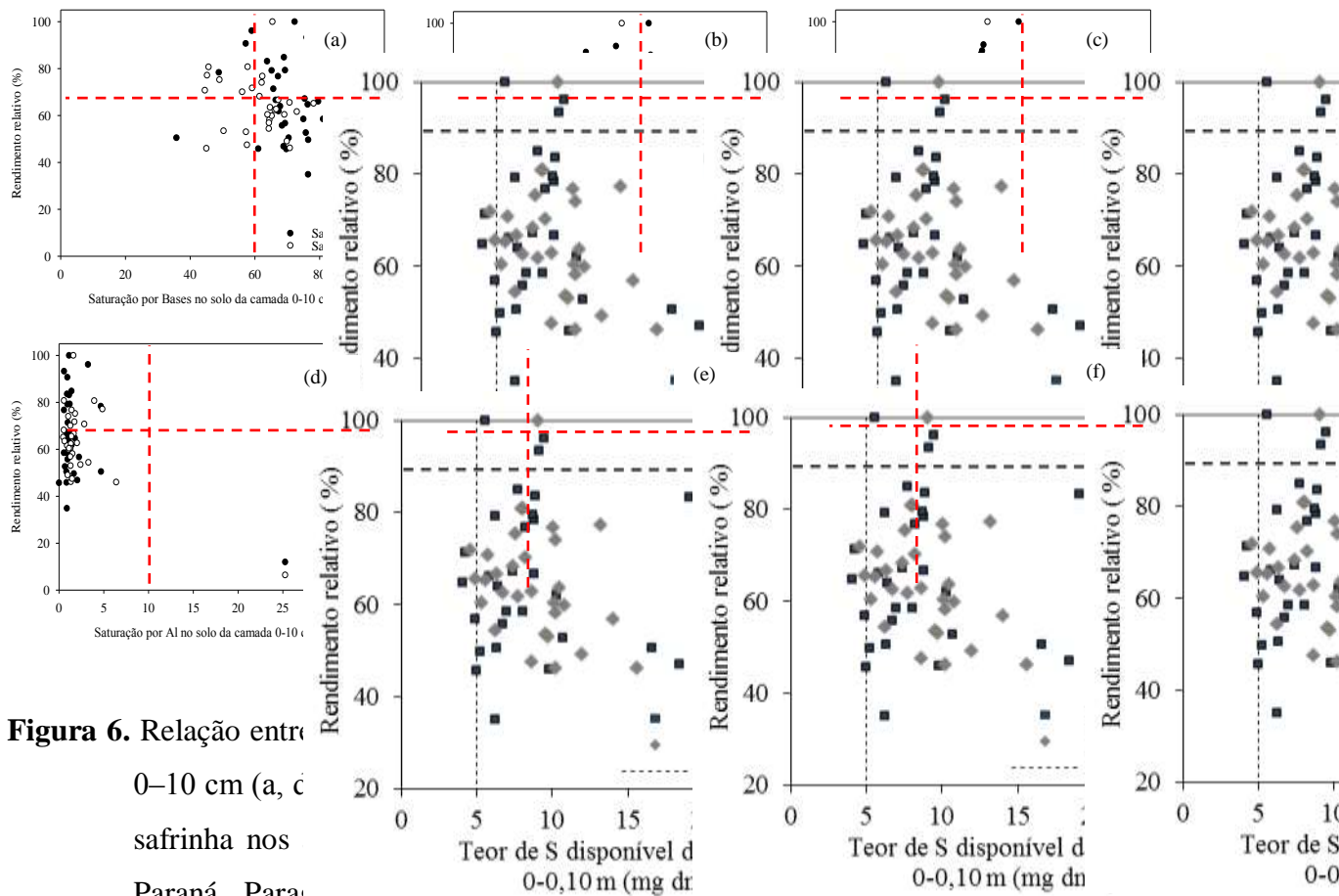
0–10 cm (a, d)

safrinha nos ε

Paraná, Paraguai.

S; 0,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 65%.

A saturação por bases (V) e a saturação por Al (m) também não apresentaram relação com o rendimento relativo do milho safrinha nos anos agrícolas 2015 e 2016 (Figura 6). A produção de milho não foi diminuída quando a saturação por bases foi menor que 60% e saturação por Al maior que 10%, conforme recomendação do CQFS-RS/SC (2016) apresentando na maioria dos casos RR inferior a 65%, nas camadas de 0–10 10–20 e 20–40 cm. Isso indica que as saturações por bases e por Al não foram limitantes para a cultura do milho, não afetando a produtividade de grãos.



**Figura 6.** Relação entre rendimento relativo do milho safrinha nos solos de várzea de Maracá, Paraná, Paraná, em função da saturação por bases e 10% de saturação por Al e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 65%.

### Conclusões

Os componentes de produção e produtividade de grãos de milho não foram influenciados pela aplicação de doses de gesso, mais houve correlação positiva de rendimento de grãos com diâmetro de colmo e massa de mil grãos. Os teores foliares de Ca e S aumentaram e o teor de Mg diminuiu com a gessagem, sem correlação com o rendimento de grãos. Os teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos de milho não foram afetados pela aplicação de doses de gesso. Houve correlação positiva do rendimento de grãos com os teores de Mg e P no grão. Por fim, não houve relação entre o rendimento relativo do milho safrinha e os teores críticos de S, Ca e Mg disponíveis no solo, saturação por bases e saturação por Al no solo das camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm.

## Referências

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M.; Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28 n.1 p.125–136, 2004.

CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. *Sciencia Agricola*, v. 63, n. 1 p. 370–379, 2006.

CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. *Soil Use Management*, v. 27, p. 45–53, 2011a.

CAIRES, E.F.; MASCHIETTO, E.H.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; JORIS, H.A. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. *Sciencia Agricola*, v. 68, n. 1, p. 209–216, 2011b.

CAIRES, E.F.; ZARDO FILHO, R.; BARTH, G.; JORIS, H.A. Optimizing Nitrogen Use Efficiency for No-Till Corn Production by Improving Root Growth and Capturing NO<sub>3</sub>-N in Subsoil. *Pedosphere*, v. 26, n. 1, p. 474–485, 2016.

CAPECO - Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas. 2017. Disponível em: <<http://www.capeco.org.py>>. Acesso em: 07 jul. 2017.

CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Journal* v.5 p. 658–660. 1971.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 11. Ed. Porto Alegre, 2016.

CUBILLA, M.M.; WENDLING, A.; ELTZ, F.L.; AMADO, T.J.; MILELNICZUK, J.; 2012. Recomendaciones de Fertilización para Soja, Trigo, Maíz y Girasol Bajo el Sistema de Siembra Directa en el Paraguay. CAPECO, 2012. Asunción, Paraguay. 88p.

DALLA NORA, D.; AMADO, T.J.C.; BORTOLOTTI, R.P.; FERREIRA, A. de O.; KELLER, C.; KUNZ, J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. *Magistra, Cruz das Almas*, v. 26, n. 1, p.1–10, 2014.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L. *Grupo InfoStat*, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ra.ed. Brasília, DF, 2013. 353p.

FATECHA, D.A.; JOHN, R.W.; SEBEN, E.; SAMANIEGO, L.R.; HAHN, E.O.; RASCHE, J.W. (2017) Clasificación de parámetros químicos de suelos agrícolas de los Departamentos de Misiones, Itapúa y Alto Paraná. *Tecnología Agraria*, 2:8-16.

FECOPROD - Federación de Cooperativas de Producción. *Agroclimate Fecoprod*. Disponível em: <<http://fecoprod.agroclimate.org>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

FERRARIS, G.N.; SALVAGIOTTI, F.; PRYSTUPA, P.; GUTIÉRREZ BOEM, F.H. Disponibilidade de azufre y respuesta de la soja de primera a la fertilización. *Informaciones agronómicas de Hispanoamérica*, n. 43, p. 17-25, 2004.

FERREIRA, A.; ARAÚJO, G.; PEREIRA, P.; CARDOSO, A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 1, p.131-138, 2001.

KOPPEN, W. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

LANA, M.C.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J.F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. *Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório*. 2da. ed. UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, 2016. 153p.

LI, Y.; DONG, Y.; NIU, S.; CUI, D. The genetics relationships among plant- height traits found using multiple trait QTL mapping of a dent corn popcorn cross. *Genome*. Toronto, v.50, n.4, p. 357-364, 2007.

LÓPEZ G., O.; GONZÁLEZ, E.; DE LLAMAS., P.; MOLINAS, A.; FRANCO S.; GARCÍA, S.; RIOS, E. *Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay*. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra SSERNMA/MAG/Banco Mundial. Asunción, Paraguay, 1995.

MARSCHNER, P. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition. Ed. Elsevier. 2012. 643p.

MARSARO, J.A.; LAZZARI, S.M.; SOUZA, J.L.; LAZZARI, F.A.; CÂNDIDO, L.M. Influência de diferentes sistemas de adubação na composição nutricional do milho *Zea mays* L. (Poaceae) e seus efeitos no ataque de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) no produto armazenado. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 28, n. 1, p. 51-64, 2007.

MASCHIETTO, E. *Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto*. 2009. 58 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2009.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. *Principios de nutrición vegetal*. Traducción al español de la 4a edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 2000. 692 p.

MICHALOVICZ, L.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R. do; KRAMER, L.M. Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 38, n. 1, p. 1496–1505, 2014.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio: magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 2, p. 249-255, 1999.

NEIS, L.; PAULINO, H.B.; DE SOUZA, E.M.; DOS REIS, O.F.; PINTO, F.A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 1, p. 409-416, 2010.

OLIVEIRA, I.P.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; MACIEL, G. A.; NEVES, B. P.; MACHADO, E. L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. *Ciência Agrotecnologia*, v. 33, n.2, p. 592-598, 2009.

PAULETTI V, PIERRI L DE, RANZAN T, BARTH G, MOTTA ACV. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 38, n. 1, p. 495–505, 2014.

PIMENTEL GOMES, F. Estadística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, v. 11. 2002, 309 p.

RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 35, n. 1, p.1687–1698, 2011.

RAMPIM, L. Avaliação da fertilidade de solo e balanço nutricional das culturas de soja e trigo em áreas com agricultura de precisão na região oeste de Paraná. 212 p. Tese. (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste de Paraná. 2015.

REPKE, R.A.; CRUZ, S.J.S.; SILVA, C.J.; FIGUEIREDO, P.G.; BICUDO, S.J. Eficiência da *Azospirillum* brasilense combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, v. 12, n. 3, p. 214-226, 2013.

RIVETTI, A.R. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de Riego complementário en Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. *Revista Científica*, v. 39, n.1, p. 29-39, 2007.

ROCKENBACH, M.D.; RASCHE, J.W.; FATECHA, D.A.; TIECHER, T.; KARAJALLO, J.C.; AGUAYO, S. Eficiência da aplicação de *Azospirillum brasilense* associado ao nitrogênio na cultura do milho. *Acta Iguazu, Cascavel*, v.6, n.1, p. 33-44, 2017.

RODRÍGUEZ, A. *Yeso agrícola y su efecto en el cultivo de maíz zafriña*. 2016. 64 p. Tesis de Grado (Carrera de Ingeniería Agronómica)- Universidad Nacional del Este, Facultad de Ingeniería Agronómica, Itakyry. 2016.

SILVA, G.G.; NEVES, J. C.L.; ALVAREZ V.; V.H. LEITE, F.P. Avaliação da Universalidade das Normas DRIS, M-DRIS e CND. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 5 p. 755-761, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 675–688, 2008.

SOUSA, D.M.; DE LOBATO E.; REIN, T.A. Uso de gesso em solos de Cerrado. Embrapa Cerrados. Circular técnica 32, 2005, 20p.

VICENSI, M.; MÜLLER, M.M.L.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R. do, MICHALOVICZ, L., LOPES, C. Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage System. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 40, n. 1, p. 1–17, 2016.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

ZOCA, S.M.; PENN, C. Chapter One - An Important Tool With No Instruction Manual: A Review of Gypsum Use in Agriculture. *Advances in Agronomy*, v. 144, n. 1, 2017, 144p.

## **6 ARTIGO 4: Atributos químicos do solo pela reaplicação de gesso agrícola num Latossolo manejado sob plantio direto no Paraguai**

### **Resumo**

A aplicação de gesso agrícola tem sido avaliada como alternativa para melhorar a qualidade química do solo em subsuperfície, no sistema plantio direto, proporcionando aprofundamento radicular, maior eficiência na absorção de água e nutrientes do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da reaplicação de doses de gesso agrícola em atributos químicos do solo sob plantio direto em um Latossolo do Paraguai. O experimento foi realizado de setembro de 2014 a junho de 2016, no município de Minga Porá, Paraguai. Em junho de 2014, aplicou-se calcário dolomítico na superfície do solo, na dose de 2.500 kg ha<sup>-1</sup>. Foi utilizado delineamento de blocos ao acaso, com seis doses de gesso agrícola (0, 200, 400, 800, 1.600 e 3.200 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco repetições. A aplicação do gesso em superfície foi realizada em duas vezes, sendo a metade da dose em setembro de 2014 com reaplicação em setembro de 2015. As amostras de solo foram coletadas nove meses após a segunda aplicação de gesso, nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Foram determinados pH CaCl<sub>2</sub>, H+Al, teores de Ca, Mg, S, K e P disponível, saturação por bases, saturação por Al e CTC efetiva. A adição de gesso agrícola até 3.200 kg ha<sup>-1</sup> não influenciou nos valores de pH CaCl<sub>2</sub>, nos teores de Ca, Mg, P, Al e H+Al, na saturação por bases e saturação por Al. As doses de gesso aplicadas elevaram linearmente o teor de S nas três camadas avaliadas e proporcionaram mobilidade de K até 20 cm de profundidade e mantendo os níveis adequados de K no solo.

**Palavras-chave:** gessagem, solo argiloso, fertilidade do solo, propriedades químicas.

### **Chemical soil attributes by reapplication of agricultural gypsum doses in Latossolo about no-till in Paraguai**

#### **Abstract**

The application of gypsum has been evaluated as an alternative to improve the quality soil chemistry in subsurface no-tillage system, providing in depth root, greater efficiency in absorbing water and nutrients from the soil. This work had as objective to evaluate of

chemical soil attributes by reapplying doses of gypsum under no-tillage system in Paraguay. The experiment was accomplished in september 2014 to june 2016, in district of Minga Porá, Paraguay. Was used randomized design with six doses gypsum (0, 200, 400, 800, 1.600 and 3.200 kg ha<sup>-1</sup>) and five repetitions. The application of gypsum on the surface it was held twice, being half the dose in September 2014 and the remainder in September 2015. In june 2014, dolomitic limestone was applied on the soil surface, in dose of 2.500 kg ha<sup>-1</sup>. The soil samples were collected 9 months after the second application of gypsum, layers of 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Were determined pH, CaCl<sub>2</sub>, H+Al, levels of Ca, Mg, S, K and P available, bases saturation, Al saturation and CTC effective. The addition of up to 3.200 kg ha<sup>-1</sup> of gypsum not influence on the values of pH CaCl<sub>2</sub>, in concentrations of Ca, Mg, P, Al and H+Al, on bases saturation and saturation by Al. The gypsum applied doses increased linearly the content of S in three layers evaluated and provided mobility of K to 20 cm deep and maintaining adequate levels of K in soil.

**Keywords:** plastering, clay soil, soil fertility, chemical properties.

### **Alteraciones en atributos químicos del suelo por reaplicación de yeso agrícola en un Latosolo manejado sobre sistema de siembra directa en Paraguay**

#### **Resumen**

La aplicación de yeso agrícola ha sido evaluada como alternativa para mejorar las condiciones químicas del suelo en subsuperficie en el sistema de siembra directa, proporcionando un mayor desarrollo radicular en profundidad, una mayor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes del suelo. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar las alteraciones en atributos químicos del suelo por la aplicación de dosis de yeso en un Latosolo de Paraguay. El experimento fue realizado desde setiembre 2014 a junio 2016 en el distrito de Minga Porá, Paraguay. Fue utilizado diseño en bloques al azar, con seis dosis de yeso agrícola (0, 200, 400, 800, 1.600 e 3.200 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco repeticiones. La aplicación de yeso en superficie fue realizada en dos oportunidades, siendo la mitad aplicada en setiembre de 2014 y la restante en setiembre de 2015. Antes de la instalación del experimento en junio 2014, fue aplicada 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de cal agrícola dolomítica en superficie. Las muestras de suelo fueron colectadas 9 meses después de la segunda aplicación de yeso, en las camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm.



Fueron determinados pH CaCl<sub>2</sub>, H+Al, tenores de Ca, Mg, S, K y P disponibles, saturación por bases, saturación por Al e CIC efectiva. La aplicación de yeso agrícola hasta 3.200 kg ha<sup>-1</sup> no influyó en los valores de pH CaCl<sub>2</sub>, en los tenores de Ca, Mg, P, Al e H+Al, en la saturación por bases y saturación por Al. Las dosis de yeso aplicadas elevaron linealmente el tenor de S en las tres camadas evaluadas y proporcionaron movilidad de K hasta 20 cm de profundidad e manteniendo los niveles adecuados de K no solo.

**Palabras clave:** dosis de yeso, suelo arcilloso, fertilidad del suelo, propiedades químicas.

## INTRODUÇÃO

A área de cultivo no plantio direto (PD) no Paraguai aumentou drasticamente desde o início da década de 90, passando de 20 mil ha em 1992, para quase 3,5 milhões ha na safra 2018 (Capeco 2017). As áreas de PD cultivada com culturas de grãos se localizam a maior parte na Região Oriental, cuja fertilidade de solo apresenta nível médio a baixo (Fatecha 2004, Arce 2017), com predomínio de valores de pH < 5,5 (Bataglia 2011), teores de matéria orgânica (MO) inferiores a 10 g kg<sup>-1</sup> (Fullaondo 2014), de fósforo (P) menores a 12 mg dm<sup>-3</sup> (Jorgee 2013) de potássio (K) com média de 0,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e enxofre (S) abaixo de 2,5 mg dm<sup>-3</sup> (Hanh & Fioretto 2017).

No PD, a correção da acidez do solo é realizada por meio da aplicação de calcário na superfície sem incorporação, diminuindo a área de contato entre as partículas do solo e as do corretivo, restringindo as reações na superfície, limitando o desenvolvimento radicular em profundidade e a elevação da produtividade das culturas (Rheinheimer et al. 2018).

A aplicação de gesso agrícola tem sido avaliada como alternativa para melhorar a qualidade química do perfil do solo no PD em subsuperfície, proporcionando o aprofundamento radicular, maior eficiência na absorção de água e nutrientes do solo (Dalla Nora e Amado 2013). O gesso não é um corretivo da acidez do solo, no entanto pode diminuir o efeito do Al trocável e aumentar a disponibilidade de Ca no subsolo devido a sua elevada solubilidade e mobilidade. Contudo, altas doses de gesso agrícola podem causar efeitos adversos como a lixiviação e deficiência induzida e ainda pode promover o carreamento de outras bases, como Mg e K das camadas superficiais do solo, para maiores profundidades (Caires et al. 2003).

O gesso agrícola, resultante de um subproduto da elaboração do ácido fosfórico constitui a principal fonte de S para as culturas, absorvido na forma de sulfato. No entanto no solo o S é

localizado predominantemente na forma orgânica, estreitamente relacionada ao teor de MO e sua mineralização, na forma de anión sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), que, gradualmente, disponibilizará o S na forma de sulfato para a solução do solo, resultante das transformações biológicas, para ser absorvido pelas plantas (Sfredo & Latmann 2007). É pouco atraído para superfície da argila, em decorrência da sua carga negativa, movimentando-se com a água e assim prontamente lixiviado (Raij 2011). Alguns solos acumulam  $\text{SO}_4^{-2}$  na subsuperfície, onde há predomínio de cargas positivas, podendo apresentar distintos comportamentos. Em regiões áridas forma parte de minerais primários como sulfato de alumínio [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ] (Delfosse et al. 2005); em solos com abundância de argila tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al, são adsorvidos na camada superficial (Rheinheimer et al. 2007) e em solos arenosos são lixiviados (Pozza et al. 2009).

Nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo com a aplicação de gesso é comumente observada aumento nos teores de Ca e S (Nogueira et al. 2003, Neis et al. 2010, Nora et al. 2014, Schimdt et al. 2016), redução de níveis indesejados de Al (Rampim et al. 2011, Ferreira et al. 2013, Aguiar et al. 2013) aumento da relação Ca/Mg (Caires et al. 1999, Caires et al. 2011) aumento na disponibilidade de P (Noia et al. 2014) e escassa influência nos valores de pH (Pauletti et al. 2014, Zandoná et al. 2015).

As doses de gesso a serem aplicadas devem basear-se na análise de solo da área, considerando teores de Ca, Mg e Al, com amostragens de pelo menos até 40 cm de profundidade em culturas anuais. Recomenda-se aplicar gesso agrícola quando o teor de Ca for menor que  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , o teor de Mg for superior a  $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e quando a saturação por Al for superior a 20% (Raij 2007) nas camadas 20–40 cm. A dose a ser aplicada é calculada utilizando o teor de argila do solo, através da fórmula:  $\text{NG} (\text{kg ha}^{-1}) = 5 \times \text{g kg}^{-1}$  de argila (Sousa et al. 2007). Nesse contexto, alguns autores ressaltam que doses muito elevadas de gesso devem ser evitadas, podendo ocasionar possíveis perdas de K e Mg por lixiviação (Caires et al. 2004, Soratto e Crusciol 2008, Ramos et al. 2013) provocando um desbalanço e deficiência nutricionais das plantas.

Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os atributos químicos do solo por efeito da reaplicação de doses de gesso agrícola em um Latossolo manejados sob plantio direto no Paraguai.

## MATERIAL E MÉTODOS

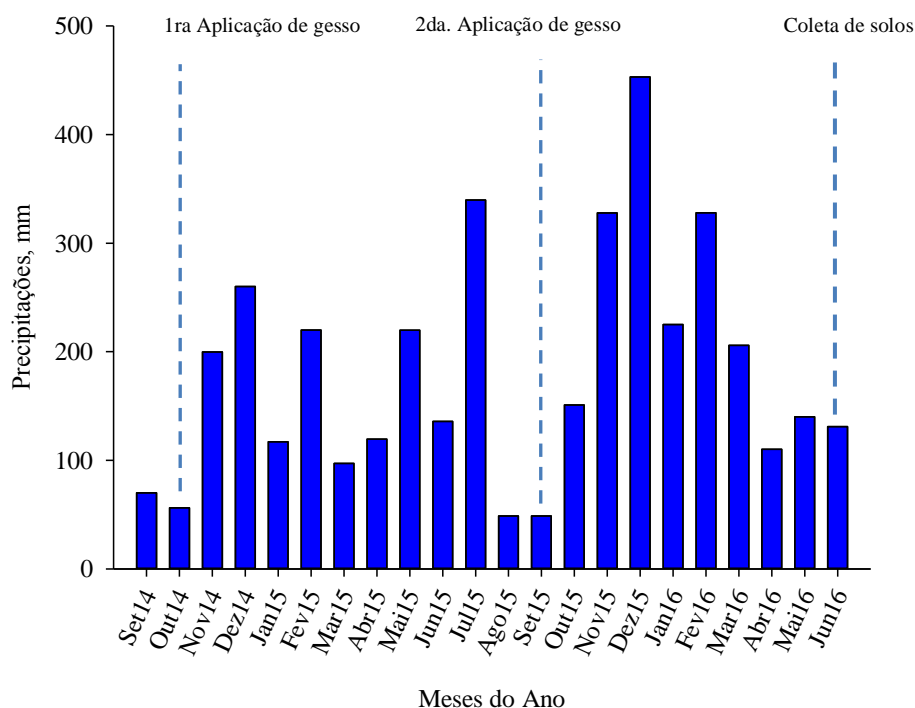
### Descrição do local de estudo

O experimento foi realizado nos meses de setembro de 2014 a junho de 2016, no município de Minga Porá (54° 53' 57" O e 24° 52' 57" S), situada no Departamento de Alto Paraná, Paraguai, com altitude de 302 m (Figura 1).



**Figura 1.** Localização geográfica da área experimental. Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, Paraguai.

A área experimental foi cultivada em sistema de plantio direto por 11 anos antes da instalação do experimento. De acordo com a classificação de Köppen (1931), o clima predominante na região é tipo Cfa, subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. Durante a condução do experimento, registrou-se uma precipitação total de 2.701 mm bem distribuídas ao longo dos 22 meses de experimentação, de setembro 2014 a junho de 2016 (Figura 2), cultivando sucessão de culturas de soja e milho safrinha.



**Figura 2.** Precipitação média mensal em Minga Porá, no período de setembro de 2014 a junho de 2016. Departamento de Alto Paraná, Paraguai.

O solo foi classificado segundo López et al. (1995) como Rhodic Kandiodox com textura argilosa e de fertilidade baixa, segundo o sistema Soil Taxonomy (Soil Survey Division Staff 1993), equivalente ao Latossolo Vermelho Distróférrico (LVd) segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa 2013).

A caracterização físico-química do solo antes da instalação dos experimentos e da aplicação de calcário é apresentada na tabela 1. O solo nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade, apresentou baixa saturação por bases (41, 29 e 26%, respectivamente) e elevada saturação por Al (21, 26 e 30%, respectivamente).

Em junho de 2014, aplicou-se calcário dolomítico com 90% de PRNT. A aplicação foi realizada à lanço na superfície do solo, na dose de  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ , a qual foi calculada para elevar a saturação por bases a 70% na camada de 0–20 cm. Aplicaram-se em cada safra de soja,  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de fertilizante NPK 4–30–20 e em cada safra de milho  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, utilizando a ureia como fonte nitrogenada.

**Tabela 1.** Resultado da análise química e física do solo da área experimental nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade. Minga Porá, Paraguai, 2014

Característica	Unidade	Profundidade da camada de solo (cm)		
		0–10	10–20	20–40
pH <sup>(1)</sup>		4,7	4,2	4,1
Al <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,25	1,35	1,45
H+Al <sup>(3)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,7	9,7	9,8
Ca <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,66	2,31	2,10
Mg <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,30	1,0	0,75
K <sup>(4)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,70	0,61	0,50
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,7	3,9	3,4
CTC <sub>pH7,0</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	11,4	13,6	13,1
Saturação por bases	%	41	29	26
Saturação por Al	%	21	26	30
Matéria orgânica <sup>(7)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	42	35	20
P <sup>(4)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	26,3	12,4	5,2
S <sup>(5)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	7,1	7,6	8,1
Areia <sup>(6)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	430	420	380
Silte <sup>(6)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	140	130	160
Argila <sup>(6)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	430	450	460

<sup>(1)</sup> pH em CaCl<sub>2</sub>, relação 1:2,5. <sup>(2)</sup> Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. <sup>(3)</sup> Extrator acetato de Ca 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0. <sup>(4)</sup> Extrator Mehlich-1. <sup>(5)</sup> Extrator Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P em HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>. <sup>(6)</sup> Método do densímetro <sup>(7)</sup> Walkley-Black (Lana et al. 2016)

### Desenho experimental

Foi utilizado delineamento de blocos ao acaso, com seis doses de gesso agrícola (0, 200, 400, 800, 1.600 e 3.200 kg ha<sup>-1</sup>) e cinco repetições. As unidades experimentais mediam 8 × 4 m (32 m<sup>2</sup>) totalizando 960 m<sup>2</sup> de área total. As doses de gesso aplicadas em superfície foram parceladas em duas vezes, realizada a primeira aplicação em setembro de 2014 sobre palhada de trigo e a segunda aplicação em setembro de 2015, sobre palhada de milho.

### Amostragem e análise do solo

As amostras de solo foram coletadas nove meses após segunda aplicação de gesso, utilizando pá de corte com três subamostras por parcela para compor uma amostra composta das camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Após secagem a 50°C e peneiramento a 2 mm, foram determinados: o pH do solo em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; o pH do solo em solução SMP<sub>pH7,5</sub> para estimar a acidez potencial do solo (H+Al); K e P disponível extraído por Mehlich-1, sendo o K determinado por fotômetro de chama e o P por método colorimétrico; S

disponível extraído com fosfato de cálcio ( $500 \text{ mg L}^{-1}$  de P em ácido acético ( $\text{HOAc } 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) com posterior determinação pelo método turbidimétrico; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com  $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo o Al determinado por titulação com solução de  $\text{NaOH } 0,015 \text{ mol L}^{-1}$  e Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica.

Posteriormente, a soma de bases (SB) foi determinada pela soma de bases trocáveis do solo (Ca+Mg+K). A capacidade de troca de cátions potencial a pH 7,0 ( $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ ) foi obtida pela soma de SB+(H+Al). A saturação por Al (m) foi obtida pela relação:  $m (\%) = [\text{Al}/(\text{SB}+\text{Al})]\times 100$ . A saturação de bases (V) foi calculada com o uso da fórmula:  $V (\%) = 100 \times \text{SB}/\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ .

As análises de solos foram realizadas no laboratório de Fertilidade e Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Oeste de Paraná, Brasil e no Centro R&D Sudamérica Timac Agro, Paraguai.

### **Análises estatísticas**

Os dados obtidos foram submetidos à análise variância. Quando os efeitos foram significativos ( $p < 0,05$ ) pelo teste de F, foram ajustadas equações de regressão para as doses de gesso aplicadas, utilizando o programa INFOSTAT (Di Renzo et al. 2011).

## **RESULTADOS**

A adição de doses de  $3.200 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso agrícola parcelada em duas aplicações não influenciaram nos valores de pH  $\text{CaCl}_2$  até 40 cm de profundidade após 9 meses da segunda aplicação de gesso (Tabela 2), coincidindo com Vilela et al. (2010) ou Sousa et al. (2012) que também não observaram efeito na acidez ativa do solo. No entanto, na camada subsuperficial do solo pode ocorrer aumento de pH (Caíres et al. 2003, Pereira 2007) atribuída a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo, que envolve óxidos hidratados de ferro e alumínio com o  $\text{SO}_4^{2-}$ , deslocando  $\text{OH}^-$ , promovendo assim uma neutralização parcial da acidez do solo (Reeve & Sumner 1972).

O teor de P no solo não foi afetado pelas doses de gesso aplicadas em todas as profundidades (Tabela 2). Similares resultados foram obtidos por Vicensi et al. (2016) que aplicando inclusive doses de  $12 \text{ t ha}^{-1}$  não observaram aumento nos teores de P disponível no solo.

Geralmente em solos argilosos a adsorção é alta em função da elevada concentração de argila, diminuindo assim a disponibilidade de P (Machado et al. 2011).

**Tabela 2.** Valores médios e resumo da análise de variância para pH CaCl<sub>2</sub> e P no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade, nove meses após segunda aplicação de gesso agrícola. Minga Porá, Alto Paraná Paraguai

Doses de gesso kg ha <sup>-1</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>			P		
	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
				----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
0	5,5	5,2	5,2	24,9	10,9	4,1
200	5,3	5,1	5,2	21,1	11,9	5,1
400	5,7	5,4	5,4	23,5	9,2	4,6
800	5,5	5,4	5,3	35,9	11,3	4,1
1600	5,4	5,3	5,2	25,3	12,9	4,3
3200	5,4	5,3	5,4	23,2	12,7	7,6
Média	5,4	5,3	5,2	25,6	11,5	5,0
F Bloco	0,16 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	4,29 <sup>ns</sup>
F Gesso	2,08 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	1,41 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	2,07 <sup>ns</sup>
F Linear	0,55 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	2,39 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	3,40 <sup>ns</sup>
F Quadrático	0,42 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	2,95 <sup>ns</sup>
F Cúbico	0,64 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	2,66 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	3,90 <sup>ns</sup>
CV %	6,2	6,5	6,6	17,2	22,7	32,1

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.

As doses de gesso agrícola aplicadas até 3.200 kg ha<sup>-1</sup> resultaram insuficientes para promover aumentos dos teores de Ca no solo nas três profundidades estudadas. Resultados não concordantes foram obtidos em diversos estudos (Saldanha et al. 2007, Serafim et al. 2012) que mostraram que a aplicação de doses de gesso agrícola provoca aumento nos teores de Ca no solo. O gesso agrícola possui aproximadamente 17 a 20% de Ca, com capacidade de aumentar o teor de Ca no solo, principalmente quando utilizando doses altas que alcançam até 12 t ha<sup>-1</sup> (Ramos et al. 2013). Mesmo com essas doses baixas aplicadas, era esperado aumento do teor de Ca, mas não houve alteração no teor de Ca no solo. Em solos com fração de argila predominante e pH mais ácido, e com maiores teores de Al<sup>+3</sup>, o qual tende preferencialmente a ocupar as cargas do solo no lugar do Ca que é perdido.

O teor de Mg não sofreu alteração pelas doses crescentes de gesso aplicadas, contrariamente a vários estudos têm demonstrado que a migração de Mg trocável tem sido uma resposta frequente a aplicação de gesso (Dalla Nora & Amado 2013, Noia et al. 2014), desejável no solo visando uma melhor condição química, promovendo um maior desenvolvimento radicular aumentando a resistência ao déficit hídrico das culturas (Caires et al. 2004).

**Tabela 3.** Teores médios e resumo da análise de variância para Ca e Mg no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade, nove meses após segunda aplicação de gesso agrícola. Minga Porá, Alto Paraná, Paraguai

Doses de gesso kg ha <sup>-1</sup>	Ca			Mg		
	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
0	6,0	5,6	5,3	2,0	1,4	1,2
200	5,2	5,0	5,2	1,7	1,5	1,2
400	6,9	7,1	6,1	2,0	1,5	1,0
800	5,0	4,7	4,5	1,6	1,4	1,2
1600	6,1	5,4	4,9	1,8	1,4	1,2
3200	5,9	5,9	5,6	1,6	1,3	1,2
Média	5,9	5,6	5,3	1,8	1,4	1,2
F Bloco	1,19 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	8,63 <sup>ns</sup>	4,62 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>
F Gesso	1,15 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>
F Linear	0,01 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	3,71 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
F Quadrático	0,03 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>
F Cúbico	0,03 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	1,72 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
CV %	21,8	23,1	26,3	24,9	28,8	35,4

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.

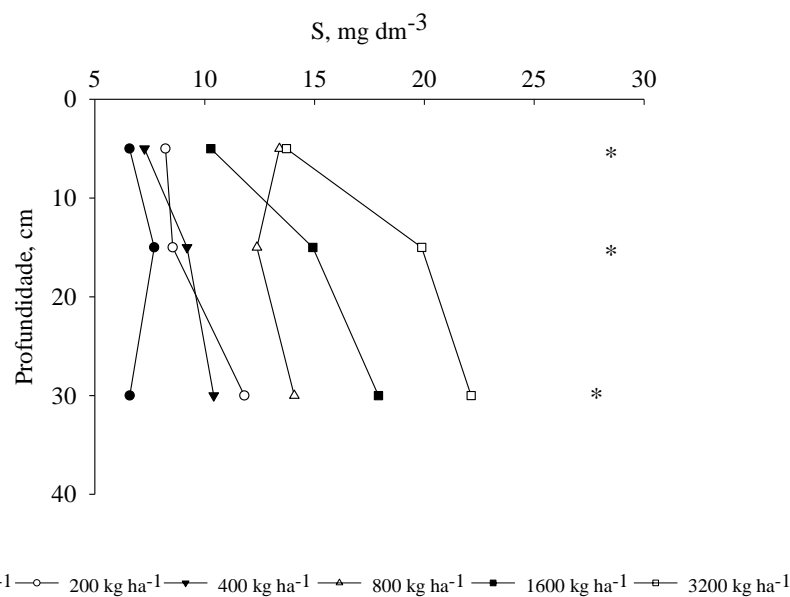
O teor de S nas três camadas avaliadas após nove meses da segunda aplicação de gesso agrícola aumentou linearmente com as doses de gesso aplicadas (Figura 4, Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Caires et al. (2003). Teores adequados de S são aqueles superiores a 5 mg dm<sup>-3</sup> para a maioria das espécies cultivadas e acima de 10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para espécies exigentes como as leguminosas, brássicas e liliáceas (CQFS-RS/SC 2016). Os teores de S no início do experimento eram baixos (7,1; 7,6 e 8,1 mg dm<sup>-3</sup>) e quando não houve aplicação de gesso, se mantiveram baixos em todo o perfil do solo até os 20 meses após início do experimento (Figura 4). A aplicação de doses menores de gesso já foi suficiente para elevar os teores de S do solo para níveis adequados tanto para a soja como para o milho. Portanto, como fonte desse nutriente, doses de gesso de até 1.600 kg ha<sup>-1</sup> já foram suficientes. O teor de K trocável no solo diminuiu linearmente em função da aplicação de gesso na camada 10–20 cm (Tabela 5). A lixiviação de K ao longo do perfil provocada pelo uso do gesso tem sido observada em outros estudos (Serafin et al. 2012, Noia et al. 2014), no entanto, não é tão marcante, pois na camada de 20–40 cm não houve acúmulo do K lixiviado (Figura 5). Embora haja uma preocupação quanto à quantidade de K que pode ser removida por adição de gesso, isso não foi significativa neste experimento, mantendo o nível de K alto estabelecido por CQFS- SC/RS (2016) por adubações anuais sucessivas nas culturas de grãos.



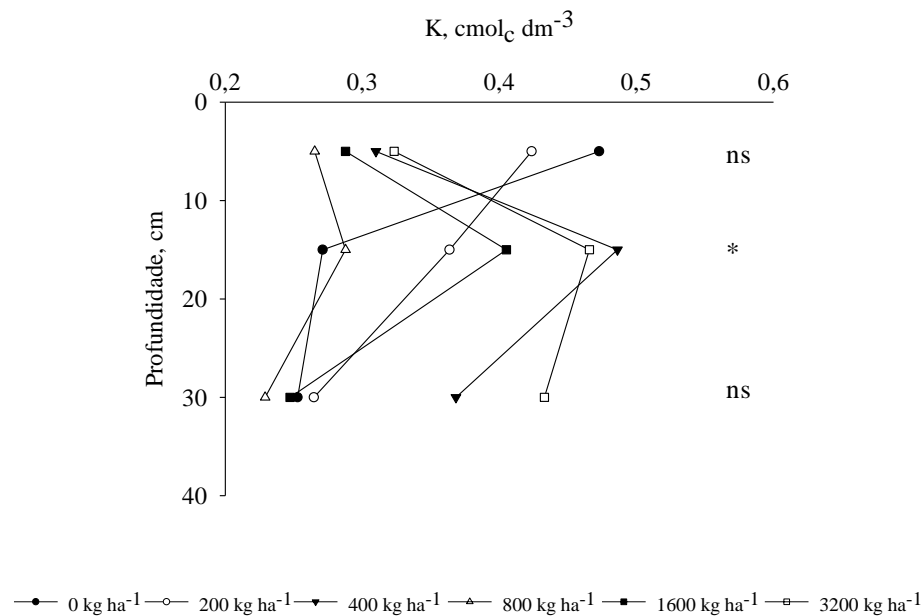
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância e equações estimadas para S e K no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade, nove meses após segunda aplicação de gesso agrícola. Minga Porá, Alto Paraná, Paraguai

Doses de gesso kg ha <sup>-1</sup>	S mg dm <sup>-3</sup>			K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
0	6,6	7,7	6,6	0,47	0,27	0,25
200	8,2	8,5	11,8	0,42	0,36	0,26
400	7,3	9,2	10,4	0,31	0,49	0,37
800	13,4	12,4	14,1	0,27	0,29	0,23
1600	10,3	14,9	17,9	0,29	0,41	0,25
3200	13,7	19,9	22,1	0,32	0,53	0,43
Média	9,9	12,1	13,8	0,35	0,39	0,30
F Bloco	0,38 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	3,38 <sup>ns</sup>	1,86 <sup>ns</sup>
F Gesso	1,57 <sup>*</sup>	2,53 <sup>*</sup>	3,70 <sup>*</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	2,77 <sup>*</sup>	1,68 <sup>ns</sup>
F Linear	5,42 <sup>*</sup>	13,1 <sup>*</sup>	17,8 <sup>*</sup>	4,56 <sup>ns</sup>	5,43 <sup>*</sup>	1,81 <sup>ns</sup>
F Quadrático	0,02 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	2,39 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
F Cúbico	0,01 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	4,73 <sup>ns</sup>	3,50 <sup>ns</sup>
CV %	18,5	16,4	18,1	41,7	34,2	22,2
Parâmetros de regressão						
Local	Prof. (cm)	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>		
Nutriente S	0–10	9,4	0,004	0,58		
	10–20	8,4	0,003	0,93		
	20–40	7,8	0,002	0,89		
Nutriente K	10–20	0,33	6.10 <sup>-5</sup>	0,45		

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo.



**Figura 4.** Teor de S no solo aos 9 meses após segunda aplicação das doses de gesso agrícola. Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, Paraguai. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ns = não significativo.



**Figura 5.** Teor de K no solo aos 9 meses após segunda aplicação das doses de gesso agrícola. Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, Paraguai. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t; ns = não significativo.

Normalmente a aplicação de gesso em sistemas de culturas é realizada com a finalidade de tornar o Al indisponível para as plantas, formando precipitados com o  $\text{SO}_4^{-2}$  especialmente em solos ácidos (Rampim et al., 2011). No entanto, as concentrações de Al trocável e acidez potencial no solo foram reduzidas, já como consequência do acentuado efeito da calagem principalmente na superfície, não mostrando efeito das adições até  $3.200 \text{ kg ha}^{-1}$  gesso nas camadas três camadas avaliadas (Tabela 1).

Neste experimento não foram encontradas mudanças significativas na saturação por bases em função das doses de gesso aplicada até 40 cm de profundidade (Tabela 6). Isto pode ser explicado pelo escasso aumento nos teores de Ca e Mg no solo por adição de gesso agrícola (Sorato e Crusciol 2008). A saturação por Al com valores muito inferiores a 10%, limite crítico estabelecido para SPD, não mostrou mudança, indicando que a toxidez por Al é pouco provável nesse solo. A CTC efetiva não mostrou influência pelo uso do gesso, com médias muito próximas entre tratamentos (Tabela 6).

**Tabela 5.** Teores médios e resumo da análise de variância para Al e H +Al no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade 9 meses após segunda aplicação de gesso agrícola. Minga Porá, Alto Paraná, Paraguai.

Doses de gesso kg ha <sup>-1</sup>	Al			H +Al		
	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
0	0,12	0,12	0,13	4,8	5,1	5,0
200	0,19	0,15	0,17	5,5	5,8	5,4
400	0,00	0,14	0,09	4,4	5,1	4,6
800	0,14	0,11	0,09	6,4	5,8	5,7
1500	0,13	0,18	0,14	5,1	5,6	5,4
3200	0,00	0,11	0,14	5,1	5,3	5,0
Média	0,10	0,14	0,13	5,2	5,5	5,2
F Bloco	4,41 <sup>ns</sup>	2,60 <sup>ns</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	10,1 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>
F Gesso	2,26 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	4,5 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>
F Linear	0,31 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
F Quadrático	1,07 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	2,27 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
F Cúbico	0,07 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>
CV %	50,7	49,9	47,8	13,7	15,4	17,5

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns =não significativo.

**Tabela 6.** Valores médios e resumo da análise de variância para Saturação por bases, Saturação por Al e CTC<sub>pH7</sub> no solo na camada de 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade 9 meses após segunda aplicação de gesso agrícola. Minga Porá, Alto Paraná, Paraguai.

Doses de gesso kg ha <sup>-1</sup>	Saturação por Bases			Saturação por Al			CTC <sub>pH7</sub>		
	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm	0–10 cm	10–20 cm	20–40 cm
0	63,9 <sup>ns</sup>	58,8 <sup>ns</sup>	57,3 <sup>ns</sup>	1,4 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>	8,6 <sup>ns</sup>	7,4 <sup>ns</sup>	6,9 <sup>ns</sup>
200	57,3	54,3	55,0	2,5	2,1	2,4	7,5	7,0	6,8
400	67,5	64,0	62,0	1,0	1,6	1,2	9,3	9,2	7,6
800	51,8	52,6	50,7	4,0	3,6	4,6	7,2	6,7	6,2
1600	61,6	56,2	53,6	1,5	2,4	2,1	8,4	7,4	6,4
3200	60,2	59,5	59,1	2,0	1,4	1,8	8,0	7,9	7,4
Média	60,4	57,6	56,3	2,1	2,1	2,3	8,2	7,6	6,9
CV %	10,9	13,8	12,3	12,4	13,2	12,8	9,7	9,2	8,9

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns =não significativo.

## CONCLUSÕES

A adição de gesso agrícola até 3.200 kg ha<sup>-1</sup> não influenciou nos valores de pH CaCl<sub>2</sub>, nas concentrações de Ca, Mg e P, Al e H+Al, na saturação por bases e saturação por Al no

Latossolo. As doses de gesso aplicadas elevaram linearmente o teor de S nas três camadas avaliadas e proporcionaram mobilidade K até 20 cm de profundidade e mantendo os níveis adequados de K no solo.

## REFERÊNCIAS

Aguiar Z, R; Lima, BM; Alcides G, CJ; Dias D, M; Marchione, MS; Berna, R; Conte, AM. 2013. Associação calcário e gesso na cultura da soja e nas características químicas do solo com alta saturação em alumínio. *Cultivando o Saber*. 6 (4): 74- 84.

Arce, A. 2017. Diagnóstico de la fertilidad de los Suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, Paraguay, FCA, UNA. 79 p.

Bataglia, V. 2011. Clasificación de los niveles de acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, Paraguay, FCA, UNA. 76p.

Caires, E; Fonseca, AF; Mendes, J; Chueiri, WA; Madruga, EF. 1999. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 23: 315-327.

Caires, E; Blum, J; Barth, G; Garbuijo, F; Kusman, M. 2003. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação no sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 27: 275-286.

Caires, E; Kusman, MT; Barth, G; Garbuio, FJ; Padilha, JM. 2004. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 28 (1): 125-136.

Caires, E; Joris, HA; Churka, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. 2011. *Soil Use Manage*. 27: 45-53.

CAPECO (Cámara Paraguaya de Exportadores de Cereales y Oleaginosas) 2017. Estadísticas (em línea). Asunción, Paraguay. Consultado 10 ene. 2018. Disponible en <http://www.capeco.org.py>.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. 2016. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. Ed. Porto Alegre, Brasil. 404p.

Dalla Nora, D, Amado, TJC. 2013. Improvement in Chemical Attributes of Oxisol Subsoil and Crop Yields under No-Till. *Agronomy Journal*. 105 (5): 1393-1403.

Delfosse, T; Delmelle, P; Givron, C; Delvaux, C. 2005. Inorganic sulphate extraction from SO<sub>2</sub>-impacted Andosols. *European Journal of Soil Science*. 56: 127 -133.

Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L. 2011. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2014. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ra.ed. Brasília, Brasil, 353p.

Fatecha, D. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, Paraguay, FCA, UNA. 103p.

Ferreira, AO; Amado, TC; Dalla Nora, D; Keller, C; Bortolotto, RP. 2013. Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em Latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul. *Ciencia del Suelo* 31(1): 1-13.

Fullaondo, E. 2014. Clasificación del nivel de materia orgánica de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, Paraguay, FCA, UNA. 75p.

Hahn, E; Fioretto, CC. 2017. Fertilidad de los suelos de la Región Oriental. In: Hanh, E. (Org.) Diagnóstico de la Fertilidad de los suelos de la Agricultura Familiar paraguaya: Región Oriental. Asunción, Paraguay, Atlas, 12: 177- 191.

Jorgee, V. 2012. Clasificación del nivel de fósforo disponible del suelo de la Región Oriental del Paraguay. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, Paraguay, FCA, UNA. 59 p.

Koppen, W. 1931. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter. 390p.

López G, O; González, E; De Llamas, P; Molinas, A; Franco S; García, S; Ríos, E. 1995. Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra SSERNMA/MAG/Banco Mundial. Asunción, Paraguay.

Machado, VJ; Souza, CH; Andrade, BB; Lana, RM; Kordondorfer, GH. 2011. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após a aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Biociência Jornal*, 27 (1): 70-76.

Neis, L; Paulino, HB; De Souza, EM; Dos Reis, OF; Pinto, FA. 2010. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34: 409-416.

Nogueira, MA; Melo, WJ. 2003. Sulphur availability to soybean and arisulphatase activity in soil treated with phosphogypsum, *Revista Brasileira Ciência de Solo*. 27 (4): 655-663.

Noia, NR; Davalo, M; Ribon, AA; Wosniak, H. 2014. Efeito de doses de gesso nas propriedades químicas do solo. *Acta Iguacu*. 3(4): 10-21.

Nora, DD; Amado, TJC; Bortolotto, RP; Ferreira, A de O; Keller, C; Kunz, J. 2014. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. *Magistra, Cruz das Almas*. 26 (1): 1-10.

- Pauletti, V; Pierri, LD; Ranzan, T, Barth, G, Motta, AC. 2014. Long-term effects of the application of gypsum and lime in a no- till system. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*. 38: 495-505.
- Pereira, FR. 2007. Gesso de minério associado a fontes de fósforo na cultura do milho em sistema de plantio direto no Estado do Alagoas. Tesis Msc. Botucatu, Brasil, UNESP. 78 p.
- Pozza, A; Curi, N; Guilherme L; Marques, J; Costa, E; Zulianidq, D; Motta, P; Martins, R; Oliveira, LC. 2009. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética. *Química Nova*. 32: 99-110.
- Raij, B. 2007. Uso de gesso agrícola na agricultura. *Informações Agronomicas* 117, POTAFOS, 2007:14-15.
- Raij, B. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba, BR., IPNI 420p.
- Rampim, L; Lana, MC; Frandoloso, JF; Fontaniva, S. 2011. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*. 35(5): 1687-1698.
- Ramos, BZ; Toledo, JP; Lima, J M De; Serafim, ME; Bastos, ARR; Guimarães, PTG; Coscione, AR. 2013. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um latossolo vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 37: 1018-1026.
- Reeve, NG; Sumner, ME. 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amedments. *Agrochemophysica*, Pretoria, 4:1-6.
- Rheinheimer, D; Rasche, JW; Da Silva, L; Osorio Filho, B. 2007. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. *Ciência Rural*. 37 (2): 363-371.
- Rheinheimer, D; Tales, T; Gonzatto, R; Mohsin, Z; Brunetto, G. 2018. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a longterm experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. *Geoderma*, 313: 7-16.
- Saldanha, EC; César, E; Tavares Da Rocha, A; Almeida De Oliveira E.; Nascimento, WC; Freire, FJ. 2007. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana de açúcar. *Revista Caatinga*. 20(1): 36-42.
- Serafim, ME; Lima, JM; Pereira, VM; Zeviani, WM; Pessonni, PT. 2012. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. *Bragantia*. 71(1) 75-81.
- Sfredo, GJ; Lantmann, AF. 2007. Enxofre nutriente necessário para maiores rendimentos da soja. *Embrapa Soja- Circular técnica*, 2007: 6.
- Schmidt, F; Tomelero, V; Bona, DF. 2016. Gesso agrícola e calcário aplicados no sistema de plantio direto com e sem revolvimento do solo. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, 29 (1) 86-93.

SBCS/NEPAR (Sociedade Brasileira De Ciencia De Solo- Nucleo Estadual Paraná). 2017. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Curitiba, Brasil, 482 p.

Soil Survey Division Staff. Examination and description of soils, 1993. In: Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook. 18: 46–155.

Soratto, R; Crusciol, CA. 2008. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 32: 675-688.

Souza, FR; Rosa Junior, EJ; Fietz, CR; Bergamin, AC; Jardim Rosa, Y; Zeviani, W. 2012. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. Semina: Ciências Agrárias. 33 (5): 1717-1732.

Vicensi, M; Müller, MM; Kawakami, J; Nascimento, R Do; Michalovicz, L, Lopes, C. 2016. Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage System. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 40 (1) 1–17.

Vilela, LC; Dos Santos, AC; Barreto, PM; Brito, S; Cavalcante, JE; Taverny, LB. 2010. Propriedades químicas de Latossolo Vermelho em função da aplicação de gessagem e calagem. Revista Acadêmica Ciências Agrarias e Ambiente. 8(1): 19-27.

Zandoná, RR; Beutler, AN; Burg, GM; Barreto, CF; Schmidt, MR. 2015. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. Pesquisa Agropecuária Tropical. 45 (2): 128-137.

## **7 ARTIGO 5: Efeito de doses e reaplicação de gesso em sistema plantio direto numa sucessão soja-milho num Latossolo do Paraguai**

**Resumo** – O gesso é uma excelente fonte de Ca e S com alta solubilidade e capacidade de diminuir a atividade do  $Al^{3+}$  em subsuperfície, podendo assim aumentar a produtividade da soja e milho. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses e reaplicação de gesso em plantio direto numa sucessão de soja e milho em um Latossolo do Paraguai. O experimento foi conduzido em Minga Porá, Paraguai, com delineamento fatorial em parcelas subdivididas em faixas em blocos ao acaso com dois fatores e cinco repetições. O primeiro fator foi composto por seis doses de gesso (0, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>) e o segundo fator foi a aplicação e reaplicação do gesso. Em junho de 2014 foi aplicado calcário dolomítico na dose de 2500 kg ha<sup>-1</sup> para elevar saturação de bases a 70%. Os tratamentos foram aplicados em superfície em setembro de 2014 e setembro de 2015. Posteriormente foi realizado o cultivo da soja (2015/ 2016) e milho safrinha (2016). Foram coletadas amostras de grãos e tecido foliar para determinação dos teores de Ca, Mg, S, P e K disponíveis. Na soja foi avaliada a massa de mil grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagens e produtividade de grãos. No milho foi avaliada a altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de espigas, comprimento da espiga, número de fileira de grãos por espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm para análise dos teores de S, Ca, Mg e K disponíveis no solo, saturação por bases e saturação por Al. Nenhuma das variáveis analisadas das culturas de soja e milho foram influenciados pelas doses de gesso ou pela reaplicação de gesso. Não houve relação entre os teores de S, Ca, Mg e K disponíveis, saturação por bases e saturação por Al no solo das camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm com a produtividade da soja e milho.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L; *Zea mays* L.; enxofre, aplicação; produtividade de grãos.



## **Effect of dose and reapplication of gypsum in no-tillage system in a soybean-corn succession in an Latossolo from Paraguai**

**Abstract** – Gypsum is an excellent source of Ca and S with high solubility and ability to decrease the activity of  $Al^{3+}$  toxic in soil subsurface, thus increasing the productivity of soybean and corn. The aim of this study was to evaluate the effect of gypsum on a soybean/maize succession in no-tillage of Latossolo from Paraguai. The experiment was conducted in Minga Porá, Paraguai, with a factorial arrangement in plots subdivided into random blocks with two factors and five replications. The main factor was gypsum doses (0, 100, 200, 400, 800 and 1600 kg ha<sup>-1</sup>) and the second factor was the application and reapplication of the gypsum. Treatments were applied on the soil surface in September 2014 and September 2015. Subsequently, soybean (2015/2016) and maize crop (2016) were grown. Grain and leaf tissue samples were collected for determination of Ca, Mg, S, P and K levels. In soybean, a thousand grain mass, number of pods per plant, number of seeds per plant, number of pods and yield of grains were evaluated. In corn, plant height, ear insertion height, stalk diameter, number of ears, ear length, number of rows per ear, mass of one thousand grains and grain yield were evaluated. Soil samples were taken in the 0–10, 10–20 and 20–40 cm layers to analyze the availability of S, Ca, Mg and K available, base saturation and Al saturation. None of the analyzed variables of soybean and corn were influenced by the doses or reapplication of gypsum. There was no relationship between the available S, Ca, Mg and K content, base saturation and Al saturation in the soil of the 0–10, 10–20 layer and 20–40 cm with the yield of soybean and corn.

**Keywords:** *Glycine max* L.; *Zea mays* L.; sulphur; application; productivity of grain.

### **Introdução**

No Paraguai, a produção agropecuária constitui a base da economia do país, a qual abrange grandes áreas de terra destinados a vários setores de produção. A agricultura mecanizada é fundamentada principalmente na sucessão de cultivos de soja e milho em sistema de plantio direto (SPD) semeadas em 3,4 e 1,1 milhões de ha com produção de 10,6 e 4,5 milhões de toneladas, respectivamente (CAPECO, 2017). Os solos da Região Oriental (RO) onde se concentra a maior produção de grãos são caracterizados por problemas de baixa

fertilidade e elevada acidez (Fatecha et al., 2017). Recentemente, um estudo feito com 6.187 amostras de solo da RO indicou que os teores de S no solo foram inferiores a  $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$  (CQFS/RS-SC, 2016) em 60% das amostras, extraídas com fosfato de cálcio [ $\text{Ca} (\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ] (MAG, 2017), o que pode estar limitando a produtividade das culturas. Os baixos teores de S disponível no solo podem estar relacionados às suas perdas por lixiviação, o declínio do teor de matéria orgânica (MO) que é o principal reservatório de S no solo, e ao uso frequente de formulações concentradas de fertilizantes que não possuem S na sua composição.

O enxofre (S) é um nutriente essencial na nutrição das plantas (Paul et al., 2007) absorvido como ânion sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) pelas raízes. Ele pode entrar no solo via deposição atmosférica (Osorio Filho et al., 2007) ou ser fornecido pela mineralização da MO (Raij, 2008). Nesse cenário o gesso pode ser utilizado como fonte de S (15–18%) no solo, além de fornecer Ca (20%) e pequenas quantidades de P (0,5–0,8%). O gesso utilizado principalmente como um condicionador do solo, é um subproduto da fabricação do ácido fosfórico, aumentando os teores de Ca e S na subsuperfície, promovendo sua mobilização vertical descendente e de outros cátions, reduzindo assim a atividade do alumínio (Al) e, conseqüentemente, aliviando sua toxidez às plantas (Caires et al., 2016) proporcionando um maior crescimento radicular e maior absorção de nutrientes e água de camadas profundas.

A dose de gesso a ser aplicada deve ser baseada em critérios técnicos (Sousa et al., 2007, Raij, 2008). Atualmente há uma grande tendência de utilizar doses elevadas de gesso em algumas culturas, provocando aumentos desnecessários no custo de produção, induzindo ao aparecimento de alguns efeitos adversos como a excessiva movimentação vertical de nutrientes, especialmente K e Mg, levando a deficiências nutricionais e diminuição nos rendimentos dos grãos. Além disso, Gelain et al. (2011) ressaltam que o excesso de S no solo ocasionado pelo fornecimento de altas quantidades de gesso, podem diminuir a absorção de molibdênio (Mo) afetando a fixação biológica de N, podendo ocasionar prejuízos para as culturas, principalmente a soja.

O gesso quando aplicado ao solo em superfície, permite um efeito positivo das culturas de soja e milho sob condições de deficiência hídrica (Nuernberg et al., 2005), que com a melhora na fertilidade do solo em subsuperfície permite melhor desenvolvimento radicular favorecendo a absorção de água das camadas mais profundas observando efeitos mais pronunciados em razão da ausência de chuva (Zandoná et al., 2015). Sousa et al. (2005) obtiveram incrementos de produtividade em áreas de ocorrência de veranicos no período de florescimento da soja. Em solos com conteúdo baixo de S e MO, Savio et al. (2011) e Broch

et al. (2011) identificaram resposta na soja. No entanto, existem trabalhos não apresentaram resposta ao gesso aplicado na cultura da soja, observado em varios Latossolos no Brasil, no Paraná (Rampim et al., 2011; Rampin et al., 2015; Fontoura et al., 2012; Pauletti et al., 2014; Vicensi et al., 2016) no sudoeste de Goias (Neis et al., 2010) em São Paulo (Moda et al., 2013) e na região sul (Schmitd et al., 2016), inclusive tem mostrado produtividade de grãos reduzida (Pauletti et al., 2014; Somavilla et al., 2016).

Apesar disso no rendimento de grãos de espécies poaceas, foram observados aumentos de produtividade, no milho (Raij et al., 1998; Caires et al., 2011a; Ferreira et al., 2013; Pauletti et al., 2014) milho consorciado com *Braquiária brizantha* (Oliveira et al., 2007; Pereira et al., 2009) e no trigo (Niazi et al., 2000; Caires et al., 2002; Rampin et al., 2011).

Existem critérios de recomendação para solos tropicais brasileiros estabelecidos. Souza e Lobato (2005) recomendam doses de gesso de 0,7, 1,2, 2,2 e 3,2 t ha<sup>-1</sup> para solos com teores de argila <15, 15-35%, 35-60% e >60% respectivamente. Sousa et al. (2007) recomendam aplicar gesso quando a saturação por Al<sup>3+</sup> for maior que 20% ou o teor de Ca<sup>2+</sup> for menor que 0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> no solo da camada de 20 a 40 cm. Em ambos casos, uma vez que os critérios são atendidos, o teor de argila do solo é utilizado para determinar a dose de gesso a ser aplicada através da fórmula: NG (kg ha<sup>-1</sup>) = 50 x % de argila. Recentemente, o Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS/NEPAR, 2017) adotou os mesmo critérios. Já no Paraguai ainda não existe nenhuma recomendação de aplicação de gesso estabelecidos, apesar de ser uma prática amplamente difundida pelos agricultores locais.

Como pode ser visto, a literatura brasileira posue varios estudos envolvendo as respostas da soja e milho a gessagem, mas estudos dessa natureza ainda são escassos no Paraguai (Watanabe, 2013; Rodriguez, 2016; Rizzati, 2016) . Portanto, o fornecimento de S no solo na forma de gesso agrícola pode influenciar o estado nutricional das plantas e qualidade dos grãos das culturas, aumentando a produtividade. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação e reaplicação de diferentes doses de gesso em plantio direto numa sucessão de soja e milho em um Latossolo do Departamento do Alto Paraná, Paraguai, atingindo a recomendação.

## **Material e Métodos**

### **Descrição do local de estudo**

O experimento foi realizado no período de setembro de 2015 a junho de 2016 no município de Minga Porá, Departamento de Alto Paraná, Paraguai. A área experimental vem sendo utilizada em sistema de plantio direto há 11 anos, em sucessão de culturas, cultivando soja no verão e milho ou trigo no inverno. O solo foi classificado, segundo López et al. (1995), como Rhodic Kandiodox com textura argilosa e de fertilidade baixa, equivalente ao Latossolo Vermelho Distróférrico (LVd) no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2013). A caracterização físico-química do solo antes da instalação dos experimentos e da aplicação de calcário é apresentada na Tabela 1. O solo nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm apresentaram baixa saturação por bases (41, 29 e 26%, respectivamente), e elevada saturação por Al (21, 26 e 30%, respectivamente), teores baixos de S (7,1; 7,6 e 8,1 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente), teores baixos de Ca (2,6; 2,3 e 2,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> respectivamente) e teores de Mg médios a baixos (1,3; 1,0 e 0,75 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> respectivamente) (CQFS/RS-SC, 2016).

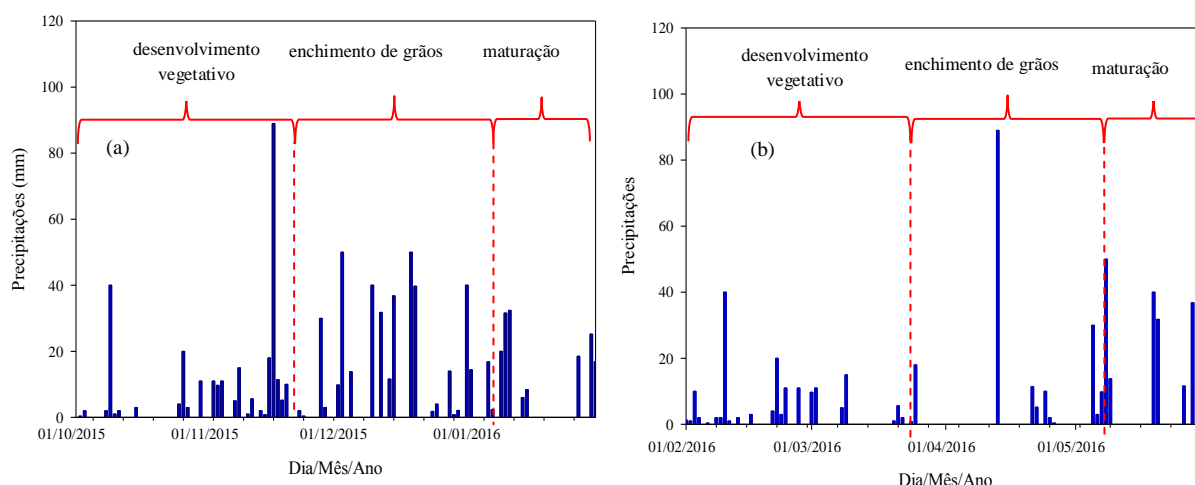
Em junho de 2014, aplicou-se calcário dolomítico com 90% de PRNT. A aplicação foi realizada a lanço na superfície do solo, na dose de 2,5 t ha<sup>-1</sup>, a qual foi calculada para elevar a saturação por bases a 70% na camada de 0–20 cm.

**Tabela 1.** Resultado da análise química e física do solo da área experimental nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm de profundidade. Minga Porá- Paraguai, 2014. Result of the chemical and physical analysis of the soil of the experimental area in the 0–10, 10–20 and 20–40 cm deep. Minga Porá- Paraguai, 2014

Característica	Unidade	Profundidade da camada de solo (cm)		
		0–10	10–20	20–40
pH <sup>(1)</sup>		4,7	4,2	4,1
Al <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,25	1,35	1,45
H+Al <sup>(3)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,7	9,7	9,8
Ca <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,66	2,31	2,10
Mg <sup>(2)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,30	1,0	0,75
K <sup>(4)</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,70	0,61	0,50
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,7	3,9	3,4
CTC <sub>pH7,0</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	11,4	13,6	13,1
Saturação por bases	%	41	29	26
Saturação por Al	%	21	26	30
Matéria orgânica <sup>(7)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	42	35	20
P <sup>(4)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	26,3	12,4	5,2
S <sup>(5)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	7,1	7,6	8,1
Areia <sup>(6)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	430	420	380
Silte <sup>(6)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	140	130	160
Argila <sup>(6)</sup>	g kg <sup>-3</sup>	430	450	460

(<sup>1</sup>) pH em CaCl<sub>2</sub>, relação 1:2,5. (<sup>2</sup>) Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. (<sup>3</sup>) Extrator acetato de Ca 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0. (<sup>4</sup>) Extrator Mehlich-1. (<sup>5</sup>) Extrator Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P em HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>. (<sup>6</sup>) Método do densímetro (<sup>7</sup>) Walkley-Black (Lana et al., 2016). (<sup>1</sup>) pH in CaCl<sub>2</sub>, ratio 1:2,5. (<sup>2</sup>) Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. (<sup>3</sup>) Acetate extractor of Ca 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7.0. (<sup>4</sup>) Mehlich-1 Extractor (<sup>5</sup>) Extractor Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 500 mg L<sup>-1</sup> de P em HOAc 2 mol L<sup>-1</sup> (<sup>6</sup>) Hydrometer method (<sup>7</sup>) Walkley-Black (Lana et al., 2016).

Köppen (1931) classifica o clima na região como Cfa, subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas ocasionais. A temperatura média anual é 22 °C e a precipitação média anual é de 1.770 mm. Durante o período do experimento, registraram-se precipitações de 1.665 mm nos meses de outubro de 2015 a junho de 2016 (FECOPROD, 2017), com chuvas bem distribuídas ao longo dos períodos dos cultivos da soja e milho safrinha (Figura 1), atendendo às necessidades hídricas para a produção máxima, que varia entre 450 a 800 mm por safra (EMBRAPA, 2003) e de 550 a 800 mm por safra (Rivetti, 2007), respectivamente.



**Figura 1** - Precipitação pluviométrica mensal ocorrida nos períodos de outubro de 2015 a janeiro de 2016 (a) e fevereiro de 2016 a maio de 2016 (b), durante a experimentação a campo, Minga Porá, Paraguai. Monthly precipitation occurring from October 2015 to January 2016 (a) and from February 2016 to May 2016 (b), during field experimentation, Minga Porá, Paraguai.

### Delineamento experimental e manejo das culturas

Foram avaliadas uma safra de soja (2015/2016) e uma de milho safrinha (2016), correspondente ao segundo de experimento, utilizando delineamento de blocos ao acaso em

esquema fatorial  $6 \times 2$  em parcelas subdivididas em faixas e cinco repetições. O primeiro fator compreendeu as doses de gesso agrícola (0, 100, 200, 400, 800 e  $1.600 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e o segundo fator foi a primeira e segunda aplicação de gesso. As unidades experimentais mediam  $8 \times 4 \text{ m}$  ( $32 \text{ m}^2$ ) totalizando  $1.920 \text{ m}^2$  de área total. A aplicação do gesso em superfície foi realizada em setembro de 2014 sobre palhada de trigo e sua reaplicação somente na metade de cada parcela em setembro de 2015, sobre palhada de milho.

O cultivar de soja INTACTA 6410 foi semeada no dia 30 de setembro de 2015. O espaçamento entrelinhas utilizado foi de 45 cm, com 12 sementes por metro linear, numa densidade de 266.000 sementes  $\text{ha}^{-1}$ . Aplicaram-se  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de fertilizante NPK 4–30–20 na semeadura da soja, como adubação de reposição, baseado na análise do solo. Os teores de P e K no local estiveram com níveis altos. O híbrido de milho utilizado foi PIONEER 4285 foi semeada no dia 30 de janeiro de 2016 após da colheita da soja. O espaçamento entrelinhas utilizado foi de 0,80 m, com 5 sementes por metro linear, numa densidade de 60.000 sementes  $\text{ha}^{-1}$ . Foi aplicado para a cultura de milho safrinha  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, com  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  na semeadura e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em cobertura no estágio V4, utilizando ureia (45% de N) como fonte nitrogenada. P e K não foram aplicados na semeadura, visando aproveitar a adubação residual realizada na cultura anterior (soja). A colheita foi realizada no dia 28 de maio de 2016.

No momento de semeadura das culturas da soja e milho foram necessárias tratamentos de sementes com Carboxin + Thiram ( $0,35 \text{ L } 100 \text{ kg}^{-1}$  semente) e Thiodicarb ( $700 \text{ g } 100 \text{ kg}^{-1}$  de sementes) para controlar ataque de insetos (*Elasmopalpus lignosellus*, *Diabrotica speciosa*, *Dalbulus maidis*) e fungos das sementes (*Phomopsis* spp. *Cercospora* sojina, *Fusarium* spp.) e protegê-las contra fungos do solo (*Alternaria solani*, *Colletotrichum* spp.). Durante o ciclo, para controle de ervas invasoras (*Bidens pilosa*, *Commelina ereta*, *Cenchrus echinatus*) das áreas foram realizadas aplicações de glyphosate ( $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ ) e bentazon ( $1,2 \text{ L ha}^{-1}$ ) na soja e estabelecimento do consórcio com *Brachiaria ruziziensis* no milho com fins de cobertura. Contra o ataque de lagartas (*Anticarsia gemmatalis*, *Pseudoplusia includens*, *Spodoptera frugiperda*) e percevejos (*Nezara viridula*, *Euschistus heros*) foram aplicadas Imidacloprido ( $75 \text{ g ia ha}^{-1}$ ) Tiametoxan ( $40 \text{ g ia ha}^{-1}$ ) e Endosulfan 35% ( $1,5 \text{ cm}^{-3} \text{ ha}^{-1}$  do i.a) Para o manejo de doenças (ferrugem, mancha-parda da folha, crestamento foliar de cercospora, antracnose) foram realizadas aplicações preventivas de fungicidas com os produtos Tebuconazole ( $100 \text{ g ia ha}^{-1}$ ), Carbendazim ( $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) Epiconazole ( $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

## **Avaliações**

### **Componentes de produtividade de grãos**

A produtividade de grãos de soja foi avaliada numa área de 4,1 m<sup>2</sup> por parcela. Foram determinados altura de plantas, número de grãos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagens, massa de mil grãos e rendimento de grãos. A produtividade do milho safrinha foi avaliada em uma área de 7,2 m<sup>2</sup> por parcela. Foram determinadas altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de espigas, comprimento da espiga, número de fileira de grãos por espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos, sendo avaliadas 10 plantas por parcela.

### **Teores de nutrientes no tecido foliar e grãos**

No início do florescimento da soja, foram feitas amostragem de folhas, coletando-se a terceira folha a partir do ápice das plantas, num total de 20 subamostras por parcela, e no milho, no início do florescimento foram feitas amostragem de folhas, coletadas no terço médio da folha oposta e abaixo da primeira espiga, sem excluir a nervura central, por ocasião da inflorescência feminina (SBCS-NEPAR, 2017). No momento da colheita das culturas de soja e milho foram coletadas amostras de 100 g de grãos. Após secagem e moagem, amostras de grãos e folhas foram digeridas em meio ácido utilizando a mistura nítrico-perclórica na proporção 3:1. Em seguida determinou-se os teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e K por emissão de chama. Os teores de S e P nos extratos foram determinados por turbidimetria e espectrofotometria UV-vis, respectivamente (Lana et al., 2016).

### **Relação de produtividade com atributos químicos do solo**

Amostras de solo foram coletadas em junho de 2015, após nove meses da reaplicação de gesso, utilizando pá de corte com 3 subamostras por parcela para compor uma amostra composta das camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. Após secagem a 50°C e peneiramento a 2 mm, foram determinados o teor de S extraído com fosfato de cálcio (500 mg L<sup>-1</sup> de P em ácido acético (HOAc) 2 mol L<sup>-1</sup>) com posterior determinação pelo método turbidimétrico. Os

teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. O Al trocável foi determinado por titulação com solução de NaOH 0,015 mol L<sup>-1</sup>; Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica. O teor de K disponível extraído por Mehlich-1, e determinado por fotômetro de chama. A acidez potencial (H+Al) foi estimada correlacionando com o valor obtido do pH SMP. Posteriormente foram calculados a saturação por bases (V) e a saturação por Al (m) de acordo com Lana et al. (2016).

Os valores críticos de S, Ca, Mg, K, V% e m%, foram estabelecidos por CQFS-SC/RS (2016). O gráfico que descreve a variação de rendimento relativo (eixo y) em relação aos valores de S, Ca, Mg, K, V% ou m% (eixo x) foram definidos considerando a média dos pontos obtidos do rendimento relativo calculado no experimento, que foram de 84% para soja e 77 % para milho, e considerando os rendimentos máximos obtidos no experimento (4,74 t ha<sup>-1</sup>) e (7,89 t ha<sup>-1</sup>) para soja e milho respectivamente que permitiram uma melhor distribuição dos pontos, de acordo com Cate & Nelson (1971).

As amostras de solo, tecido foliar e grãos foram analisadas nos laboratórios de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Oeste de Paraná, Brasil e no Centro R&D Sudamérica Timac Agro, Paraguai.

### **Análises estatísticas**

Os dados obtidos foram submetidos à análise variância. Quando os efeitos foram significativos ( $p < 0,05$ ) pelo teste de F, e as diferenças entre número de aplicações foram comparados pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$ , utilizando o programa INFOSTAT (Di Renzo et al., 2011).

### **Resultados e Discussão**

#### **Componentes de produtividade de grãos na soja e milho safrinha**

A altura de planta, número de vagens por planta, número grãos por planta, número de grão por vagens, massa de mil grãos e rendimento de grãos da cultura de soja (Tabela 2) não foram influenciados pelas diferentes doses de gesso agrícola, sem interação entre aplicação e reaplicação de gesso, coincidindo com Soares (2016), num Latossolo Vermelho Distroférico, não observou efeito da gessagem na soja num experimento similar. A parcela experimental



apresentou alta acidez subsuperficial (Tabela 1) e ausência de deficiência hídrica (Figura 2). Nesse cenário similar Tales et al. (2018) numa revisão sistemática de experimentos com gessagem na cultura de soja em solos de Paraná e Rio Grande do Sul, num total de 18 safras avaliadas encontrou apenas uma que respondeu positivamente à aplicação de gesso.

**Tabela 2** - Altura de planta, número de vagens por planta, número grãos por planta, número de grão por vagens, massa de mil grãos e rendimento de grãos da cultura da soja em função a diferentes doses e aplicação de gesso, Minga Porá, Paraguai. Plant height, number of pods per plant, grain number per plant, number of grain for green beans mass of thousand grains and grain yield of soybean culture according to different doses and plaster application, Minga Porá, Paraguai

Gesso kg ha <sup>-1</sup>	0	100	200	400	800	1600	Médias
altura de planta (cm)							
1 <sup>ra</sup> aplicação	82,1 <sup>ns</sup> a	80,5 a	79,3 a	81,2 a	81,0 a	80,1 a	80,7
2 <sup>da</sup> aplicação	82,3 <sup>ns</sup> a	80,3 a	80,5 a	80,9 a	79,7 a	83,3 a	81,1
Média	82,2	80,4	79,9	81,1	80,4	81,6	
CV= 4,7							
número de vagens por planta							
1 <sup>ra</sup> aplicação	53,7 <sup>ns</sup> a	53,0 a	53,4 a	54,1 a	49,6 a	52,6 a	57,7
2 <sup>da</sup> aplicação	52,8 <sup>ns</sup> a	53,3 a	52,8 a	51,7 a	51,1 a	53,1 a	52,5
Média	53,3	53,2	53,1	52,9	50,3	52,8	
CV= 8,2							
número grãos por planta							
1 <sup>ra</sup> aplicação	129,4 <sup>ns</sup> a	134,5 a	146,9 a	138,3 a	127,3 a	135,2 a	135,3
2 <sup>da</sup> aplicação	134,4 <sup>ns</sup> a	135,3 a	135,2 a	130,1 a	129,9 a	135,8 a	133,5
Média	131,9	134,9	141,0	134,2	128,6	135,5	
CV= 8,2							
número de grão por vagens							
1 <sup>ra</sup> aplicação	2,40 <sup>ns</sup> a	2,53 a	2,75 a	2,55 a	2,56 a	2,57 a	2,56
2 <sup>da</sup> aplicação	2,54 <sup>ns</sup> a	2,53 a	2,56 a	2,51 a	2,54 a	2,55 a	2,54
Médias	2,47	2,53	2,65	2,53	2,55	2,56	
CV= 5,6							
massa de mil grãos (g)							
1 <sup>ra</sup> aplicação	151,8 <sup>ns</sup> a	150,4 a	149,6 a	147,4 a	149,7 a	152,4 a	150,2
2 <sup>da</sup> aplicação	149,5 <sup>ns</sup> a	153,9 a	152,1 a	147,6 a	150,2 a	149,5 a	150,5
Média	150,6	152,2	150,8	147,2	149,9	15,97	
CV= 3,9							
produtividade de grãos (t ha <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	3,85 <sup>ns</sup> a	4,09 a	4,03 a	3,88 a	3,92 a	3,91 a	3,95
2 <sup>da</sup> aplicação	4,03 <sup>ns</sup> a	4,07 a	3,79 a	3,76 a	3,96 a	4,09 a	3,95
Média	3,94	4,08	3,91	3,82	3,94	4,00	
CV= 7,3							

**Na linha horizontal** \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo. **Na coluna vertical** as médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a p<0,05%. In the horizontal line\* = significant 5% probability for the F-test, ns = non-significant. On vertical column means followed by the same letters do not differ among themselves by Tukey test p< 0.05%

Os componentes de produção e produtividade da cultura de milho safrinha não sofreram efeito nem interação da aplicação e reaplicação de doses de gesso (Tabela 3). No entanto, em dois solos de Paraná, Michalovicz (2012) num Latossolo Bruno e Caires et. al (2011a) num Latossolo Vermelho argiloso, observaram respostas quadráticas na produtividade de grãos de milho com máxima eficiência técnica de 4 e 7,8 t ha<sup>-1</sup> de gesso. Assimesmo Caires et al (2011b) aplicando doses de 3 a 9 t ha<sup>-1</sup> de gesso no ano 1998, observaram acréscimos de 9% e 6% na produtividade de 9,6 t ha<sup>-1</sup> de milho nas safras 2004/2005 e 2007/2008 respectivamente.

**Tabela 3** - Altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de espigas, comprimento da espiga, número de fileira de grãos, diâmetro da espiga, massa de mil grãos e rendimento de grãos da cultura de milho safrinha em função a diferentes doses e aplicação de gesso, Minga Porá, Paraguai. Height of insertion of the spike, culm diameter, number of spikes, spike length, number of row for grain, diameter of the spike, mass of thousand grains and grain yield the culture of corn crops in the different doses and plaster application, Minga Porá, Paraguai.

Gesso kg ha <sup>-1</sup>	0	100	200	400	800	1600	Média
altura de planta (cm)							
1 <sup>ra</sup> aplicação	2,10 <sup>ns</sup> a	2,06 a	2,06 a	2,10 a	2,14 a	2,18 a	2,10
2 <sup>da</sup> aplicação	2,18 <sup>ns</sup> a	2,18 a	2,12 a	2,18 a	2,08 a	2,16 a	2,15
Média	2,14	2,09	2,12	2,09	2,15	2,19	
CV= 3,86							
diâmetro do colmo (mm)							
1 <sup>ra</sup> aplicação	20,7 <sup>ns</sup> a	21,3 a	20,3 a	22,2 a	20,9 a	21,1 a	21,1
2 <sup>da</sup> aplicação	21,9 <sup>ns</sup> a	17,2 a	22,0 a	19,8 a	21,0 a	21,0 a	21,1
Média	21,3	20,97	21,12	20,96	21,02	21,17	
CV= 6,1							
altura de inserção da espiga (cm)							
1 <sup>ra</sup> aplicação	0,96 <sup>ns</sup> a	0,98 a	0,98 a	1,00 a	1,02 a	1,00 a	0,99
2 <sup>da</sup> aplicação	0,98 <sup>ns</sup> a	1,02 a	1,00 a	0,92 a	1,06 a	1,00 a	0,99
Média	0,97	1,00	0,99	0,96	1,04	1,00	
CV= 8,9							
comprimento da espiga (cm)							
1 <sup>ra</sup> aplicação	16,5 <sup>ns</sup> a	17,1 a	18,2 a	16,5 a	16,9 a	16,5 a	16,9
2 <sup>da</sup> aplicação	17,2 <sup>ns</sup> a	17,3 a	18,0 a	16,80 a	17,6 a	16,7 a	17,3
Média	16,8	17,2	18,1	16,7	17,3	16,6	
CV= 5,3							
número de fileira por grãos							
1 <sup>ra</sup> aplicação	13,6 <sup>ns</sup> a	13,5 a	13,4 a	13,3 a	13,5 a	13,7 a	13,5
2 <sup>da</sup> aplicação	13,5 <sup>ns</sup> a	13,7 a	13,5 a	12,3 a	13,6 a	13,7 a	13,6
Média	13,6	13,6	13,5	13,3	13,6	13,7	
CV= 3,6							
diâmetro da espiga (mm)							

1 <sup>ra</sup> aplicação	45,2 <sup>ns</sup> a	43,9 a	43,6 a	42,1 a	45,6 a	44,2 a	44,1
2 <sup>da</sup> aplicação	43,2 <sup>ns</sup> a	42,4 a	42,4 a	41,5 a	42,8 a	43,4 a	42,6
Média	44,2	43,1	43,0	41,8	44,2	43,8	
CV= 4,1							
massa de mil grãos (g)							
1 <sup>ra</sup> aplicação	322,3 <sup>ns</sup> a	333,8 a	330,1 a	324,4 a	325,9 a	334,5 a	328,50
2 <sup>da</sup> aplicação	334,2 <sup>ns</sup> a	312,9 a	335,9 a	328,6 a	318,3 a	312,2 a	323,70
Média	328,3	323,4	333,0	326,5	322,1	323,4	
CV= 4,4							
rendimento de grãos (t ha <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	6,23 <sup>ns</sup> a	6,56 a	6,33 a	6,52 a	6,93 a	6,37 a	6,27
2 <sup>da</sup> aplicação	6,18 <sup>ns</sup> a	6,30 a	6,89 a	5,72 a	6,04 a	5,70 a	6,14
Média	6,21	6,44	5,93	6,08	6,49	6,09	
CV= 15,3							

**Na linha horizontal** \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo. **Na coluna vertical** as médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a  $p < 0,05\%$ . In the horizontal line\* = significant 5% probability for the F-test, ns = non-significant. On vertical column means followed by the same letters do not differ among themselves by Tukey test  $p < 0.05\%$

Essa ausência de respostas na produtividade das culturas da soja e milho safrinha em função das doses de gesso pode estar relacionada à boa distribuição de chuvas durante o desenvolvimento das culturas (Figura 1). A aplicação antecipada da calagem antes da implantação das culturas diminuiu a acidez e elevou a saturação por bases, favorecendo numa alta disponibilidade de nutrientes do solo, acompanhados pelo teor inicial alto de MO (Tabela 1), que permitiu o fornecimento de S em curto prazo, suficiente para o bom desenvolvimento e rendimento da soja e milho safrinha.

### Teor de nutrientes no tecido foliar

Os teores de Ca, Mg, S, P e K no tecido foliar na cultura da soja (Tabela 4) não sofreram alteração em função de doses e aplicação de gesso. De forma similar Rampin et al. (2015) aplicando doses crescentes até 2.400 kg ha<sup>-1</sup> de gesso não encontraram influência nas concentrações de macro (Ca, Mg, S, P, K) e micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe) nas folhas da soja. Os teores médios encontrados de 17,6 e 17,8 g kg<sup>-1</sup> de Ca, 6,8 e 6,9 g kg<sup>-1</sup> de Mg, 3,0 e 2,8 g kg<sup>-1</sup> de S, 3,1 e 2,8 g kg<sup>-1</sup> de P e 17,9 e 18,1 g kg<sup>-1</sup> de K após primeira e segunda aplicação de gesso são considerados adequados (CQFS/RS-SC, 2016). Contrariamente, Soratto e Crusciol (2008) num estudo em solos de baixa fertilidade, observaram aumento do teor de S nas folhas de soja e interferência nas propriedades químicas do solo mediante uso de até 4,3 t ha<sup>-1</sup> gesso antes do plantio, favorável para o desenvolvimento da soja. Em trabalhos

conduzidos por Caires et al. (1999), Caires et al. (2003) os autores observaram uma redução dos teores foliares de Mg, e K (Soares, 2016) na soja a aplicação de gesso.

**Tabela 4** - Teores foliares de Ca, Mg, S, P e K na cultura da soja em função de diferentes doses e aplicação de gesso, Minga Porá, Paraguai. Foliar contents of Ca, Mg, S, P, and K in soybean culture according to different doses and plaster application, Minga Porá, Paraguai.

Gesso kg ha <sup>-1</sup>	0	100	200	400	800	1600	Média
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	17,6 <sup>ns</sup> a	19,5 a	15,8 a	19,5 a	17,9 a	15,7 a	17,7
2 <sup>da</sup> aplicação	18,7 <sup>ns</sup> a	19,0 a	15,6 a	18,2 a	18,1 a	17,2 a	17,8
Média	18,2	19,3	15,7	18,9	18,0	16,5	
CV= 15,3							
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	6,0 <sup>ns</sup> a	6,2 a	6,2 a	7,9 a	7,5 a	7,2 a	6,8
2 <sup>da</sup> aplicação	7,4 <sup>ns</sup> a	6,9 a	6,0 a	7,9 a	6,8 a	6,7 a	6,9
Média	6,7	6,6	6,1	7,9	7,2	7,0	
CV= 33,1							
Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	3,0 <sup>ns</sup> a	2,4 a	3,5 a	3,0 a	2,8 a	3,3 a	3,0
2 <sup>da</sup> aplicação	3,1 <sup>ns</sup> a	2,9 a	2,4 b	2,8 a	2,9 a	2,9 a	2,9
Média	3,1	2,7	3,0	2,9	2,9	3,1	
CV= 23,5							
Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	3,1 <sup>ns</sup> a	2,5 a	3,1 a	3,1 a	3,4 a	3,4 a	3,1
2 <sup>da</sup> aplicação	3,0 <sup>ns</sup> a	2,8 a	2,3 b	2,9 a	2,8 a	3,1 a	2,8
Média	3,0	2,7	2,7	3,0	3,1	3,2	
CV= 21,8							
Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	18,0 <sup>ns</sup> a	18,3 a	19,1 a	19,1 a	17,4 a	18,9 a	18,5
2 <sup>da</sup> aplicação	17,5 <sup>ns</sup> a	18,5 a	18,6 a	18,5 b	17,3 a	18,4 a	18,1
Média	17,7	18,4	18,8	18,8	17,2	18,6	
CV= 26,6							

**Na linha horizontal** \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo. **Na coluna vertical** as médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a p<0,05%. In the horizontal line\* = significant at 5% probability by the F test, ns = not significant. In the vertical column, the averages followed by the same letters do not differ from each other by the Tukey test at p <0.05%

Na Tabela 5 são observados os teores foliares de Ca, Mg, S, P e K na cultura de milho, sem efeito nem interação das doses e aplicações de gesso. As médias de 5,8 e 5,3 g kg<sup>-1</sup> de Ca, 2,3 e 2,5 g kg<sup>-1</sup> de Mg, 1,7 e 1,7 g kg<sup>-1</sup> de S, 3,3 e 3,2 g kg<sup>-1</sup> de P e 23,7 e 24,6 g kg<sup>-1</sup> de K em função da primeira e segunda aplicação de gesso, respectivamente, estiveram acima dos teores adequados estabelecidos por CQFS/RS-SC (2016). Entretanto, Soares (2016) observou aumento linear crescente nos teores foliares de Ca e S, e decrescente para K e Mg em função da aplicação de 0 a 8 t ha<sup>-1</sup> de gesso. Esse fato de nula resposta à aplicação e reaplicação de

gesso e valores muito próximos entre as médias dos macronutrientes nos tecidos de soja e milho, é provavelmente em razão da distribuição de chuvas que foi adequada para o desenvolvimento das culturas, além da boa disponibilidade de nutrientes no solo e alto teor de MO.

**Tabela 5** - Teores foliares de Ca, Mg, S, P e K na cultura de milho safrinha em função a diferentes doses e aplicação de gesso, Minga Porá, Paraguai. Foliar contents of Ca, Mg, S, P, and K in the cultivation of corn crops in the different doses and plaster application, Minga Porá, Paraguai.

Gesso kg ha <sup>-1</sup>	0	100	200	400	800	1600	Média
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	5,5 <sup>ns</sup> a	5,8 a	5,5 a	5,8 a	6,5 a	6,1 a	5,8
2 <sup>da</sup> aplicação	5,3* a	5,5 a	5,0 a	5,9 a	5,7 a	4,4 a	5,3
Média	5,4	5,6	5,3	5,7	7,1	5,3	
CV= 11,2							
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	2,6 <sup>ns</sup> a	2,5 a	2,4 a	2,2 a	2,1 a	2,0 a	2,3
2 <sup>da</sup> aplicação	3,0 <sup>ns</sup> a	2,7 a	2,4 a	2,5 a	2,5 a	2,1 a	2,5
Média	2,8	2,6	2,4	2,3	2,3	2,1	
CV= 30,1							
Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	1,6 <sup>ns</sup> a	1,7 a	1,7 a	1,7 a	1,7 a	1,9 a	1,7
2 <sup>da</sup> aplicação	1,8 <sup>ns</sup> a	1,8 a	1,6 a	1,8 a	1,7 a	2,0 a	1,7
Média	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7	1,9	
CV= 32,3							
Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	3,2 <sup>ns</sup>	3,2 a	3,4 a	3,5 a	3,3 a	3,4 a	3,3
2 <sup>da</sup> aplicação	3,4 <sup>ns</sup>	3,6 a	3,2 a	3,4 a	3,3 a	2,4 a	3,2
Média	3,3	3,4	3,3	3,4	3,3	2,9	
CV= 16,2							
Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	25,4 <sup>ns</sup>	25,0 a	23,7 a	23,1 a	22,4 a	23,0 a	23,7
2 <sup>da</sup> aplicação	22,0 <sup>ns</sup>	28,0 a	23,0 a	27,1 a	25,6 a	22,1 a	24,6
Média	23,7	26,5	23,3	25,1	24,0	25,2	
CV= 11,7							

**Na linha horizontal** \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo. **Na coluna vertical** as médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a p<0,05%. In the horizontal line\* = significant at 5% probability by the F test, ns = not significant. In the vertical column, the averages followed by the same letters do not differ from each other by the Tukey test at p <0.05%

## Teores de nutrientes nos grãos

Os teores dos nutrientes nos grãos da soja (Tabela 6) e do milho safrinha (Tabela 7) não foram afetados pelas doses e aplicação de gesso nem houve interação entre número de aplicações, provavelmente pelos teores suficientes de Ca, Mg, S, e P no solo, além de permanecer com valores acima dos teores de suficiência adequados para as culturas (CQFS/RS-SC, 2016).

**Tabela 6** - Teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos na cultura da soja em função de diferentes doses e aplicação de gesso, Minga Porá, Paraguai. Levels of Ca, Mg, S, P, and K in soybean culture grains according to different doses and plaster application, Minga Porá, Paraguai.

Gesso kg ha <sup>-1</sup>	0	100	200	400	800	1600	Média
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	4,0 <sup>ns</sup> a	4,2 a	4,5 a	4,2 a	4,1 a	4,1 a	4,1
2 <sup>da</sup> aplicação	4,7 <sup>ns</sup> a	4,8 a	4,0 a	4,7 a	4,1 a	4,4 a	4,4
Média	4,3	4,4	4,3	4,4	4,1	4,2	
CV= 21,1							
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	2,1 <sup>ns</sup> a	2,7 a	2,7 a	2,4 a	2,4 a	2,4 a	2,4
2 <sup>da</sup> aplicação	2,6 <sup>ns</sup> a	2,6 a	2,7 a	2,7 a	2,6 a	2,5 a	2,6
Média	2,3	2,6	2,7	2,5	2,5	2,4	
CV= 22,8							
Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	2,3 <sup>ns</sup> a	2,3 a	2,2 a	2,5 a	2,3 a	2,4 a	2,3
2 <sup>da</sup> aplicação	2,3 <sup>ns</sup> a	2,3 a	2,3 a	2,3 a	2,3 a	2,6 a	2,3
Média	2,3	2,3	2,2	2,4	2,3	2,5	
CV= 7,6							
Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	5,3 <sup>ns</sup> a	5,4 a	5,4 a	5,1 a	5,0 a	5,1 a	5,2
2 <sup>da</sup> aplicação	5,2 <sup>ns</sup> a	5,2 a	5,2 a	5,3 a	5,2 a	5,4 a	5,2
Média	5,2	5,3	5,3	5,2	5,1	5,3	
CV= 14,3							
Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )							
1 <sup>ra</sup> aplicação	15,0 <sup>ns</sup> a	15,2 a	14,8 a	13,0 a	14,7 a	14,7 a	14,5
2 <sup>da</sup> aplicação	15,6 <sup>ns</sup> a	15,2 a	15,6 a	14,9 a	15,6 a	15,2 a	15,3
Média	15,3	15,2	15,2	13,9	15,1	15,0	
CV= 15,8							

**Na linha horizontal** \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo. **Na coluna vertical** as médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a p<0,05%. In the horizontal line \* = significant at 5% probability by the F test, ns = not significant. In the vertical column, the averages followed by the same letters do not differ from each other by the Tukey test at p < 0.05%

**Tabela 7** – Teores de Ca, Mg, S, P e K nos grãos na cultura de milho safrinha em função de diferentes doses e aplicação de gesso, Minga Porá, Paraguai. Levels of Ca, Mg, S, P, and K in grain corn in off-season culture function at different doses and plaster application, Minga Porá, Paraguai.

Gesso kg ha <sup>-1</sup>	0	100	200	400	800	1600
Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )						
1 <sup>ra</sup> aplicação	1,2 <sup>ns</sup> a	1,6 a	1,5 a	1,7 a	1,1 a	2,0 a
2 <sup>da</sup> aplicação	1,5 <sup>ns</sup> a	2,2 a	1,5 a	2,3 a	1,5 a	2,0 a
CV= 22,1						
Teor de Mg (g kg <sup>-1</sup> )						
1 <sup>ra</sup> aplicação	1,1 <sup>ns</sup> a	1,3 a	1,7 a	1,6 a	1,2 a	1,5 a
2 <sup>da</sup> aplicação	1,5 <sup>ns</sup> a	1,3 a	1,8 a	1,4 a	1,6 a	1,2 a
CV= 32,4						
Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )						
1 <sup>ra</sup> aplicação	0,9 <sup>ns</sup> a	0,9 a	0,9 a	1,0 a	0,9 a	0,9 a
2 <sup>da</sup> aplicação	0,9 <sup>ns</sup> a	0,8 a	0,8 a	1,0 a	1,0 a	0,9 a
CV= 34,3						
Teor de P (g kg <sup>-1</sup> )						
1 <sup>ra</sup> aplicação	5,7 <sup>ns</sup> a	6,4 a	7,1 a	6,7 a	6,1 a	6,5 a
2 <sup>da</sup> aplicação	6,7 <sup>ns</sup> a	6,2 a	7,0 a	7,1 a	6,8 a	6,3 a
CV= 16,2						
Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )						
1 <sup>ra</sup> aplicação	1,8 <sup>ns</sup> a	2,1 a	2,5 a	2,4 a	1,7 a	1,9 a
2 <sup>da</sup> aplicação	2,5 <sup>ns</sup> a	1,9 a	2,7 a	2,4 a	2,2 a	1,8 a
CV= 11,3						

**Na linha horizontal** \* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo. **Na coluna vertical** as médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a p<0,05%. In the horizontal line \* = significant at 5% probability by the F test, ns = not significant. In the vertical column, the averages followed by the same letters do not differ from each other by the Tukey test at p <0.05%

Com base nos resultados obtidos, pode-se inferir que o comportamento dos macronutrientes avaliados em soja e milho não mostraram correlação significativa entre o teor no tecido foliar e nos grãos nem com os parâmetros de produtividade.

### Relação de produtividade com atributos químicos do solo

Não houve relação significativa entre o rendimento relativo (RR) da cultura de soja e os teores de S, K, Ca e Mg disponível (Figura 2) nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm após duas aplicações de gesso agrícola. As culturas avaliadas não apresentaram relação com o nível crítico de S, tanto for inferior a 10 mg dm<sup>-3</sup> nem com teores de K, Ca e Mg no solo, que estiveram com alto predomínio por acima dos níveis críticos de 0,15 cmolc dm<sup>-3</sup>, 4,0 cmolc dm<sup>-3</sup> e 1,0 cmolc dm<sup>-3</sup>, estabelecidos por CQFS-SC/RS (2016).

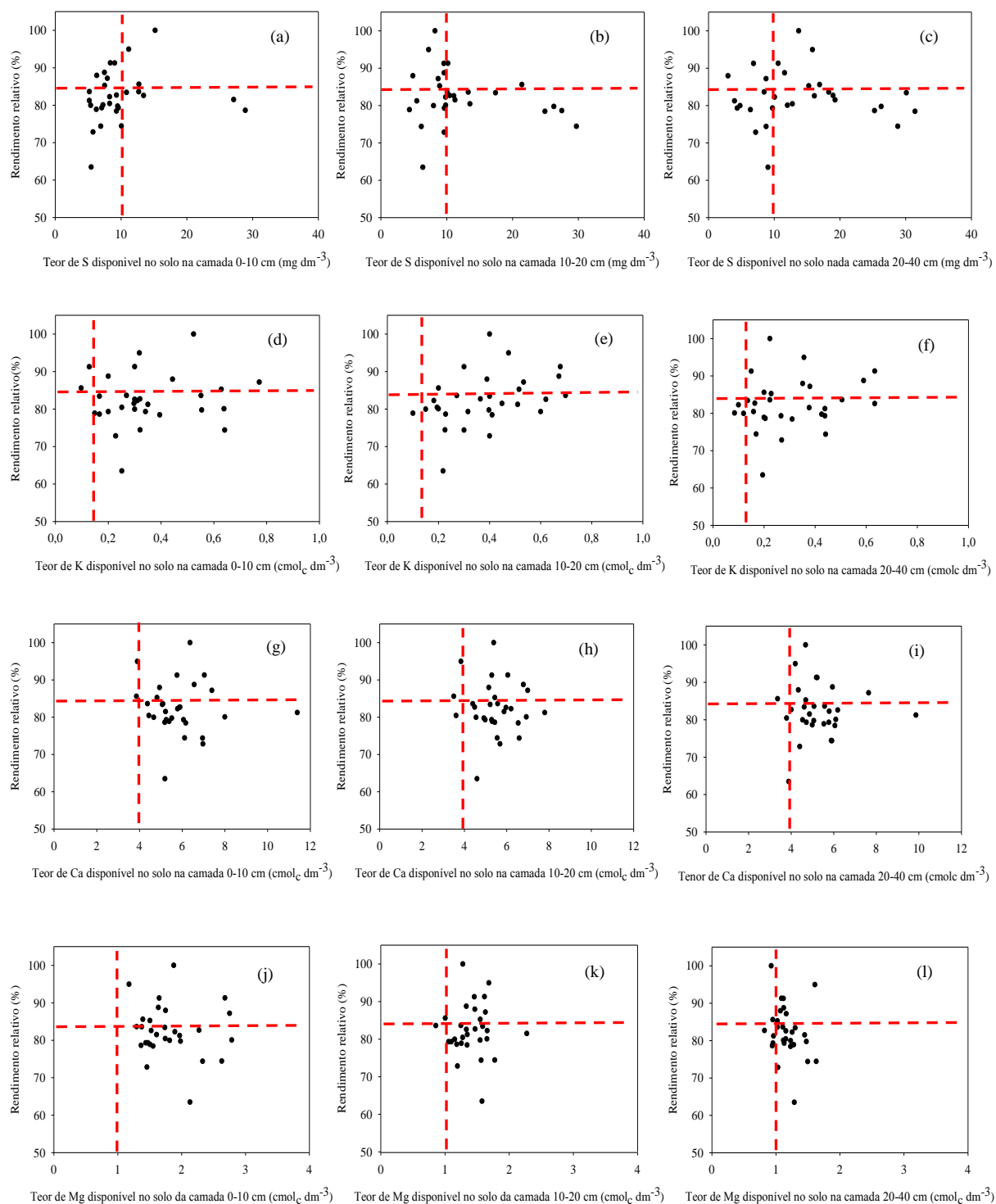


Figura 2. Relação entre teor de enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponível no solo das camadas de 0–10 cm (a, d, g, j) 10–20 cm (b, e, h, k) e 20–40 cm (c, f, i, l) em função a diferentes doses e reaplicação de gesso e o rendimento relativo da soja em um Latossolo de Minga Porá, Paraguai, 2015/2016. Linha



pontilhada vertical indica o nível crítico de  $10,0 \text{ mg kg}^{-1}$  de S,  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de K,  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca e  $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 84%. Relationship between sulfur (S), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) available in soil layers of 0–10 cm (a, d, g, j) 10–20 cm (b, e, h, k) e 20–40 cm (c, f, i, l) depending on the different doses and reapplication and the relative yield of soybeans in a Latossolo de Minga Porá, Paraguai, 2015/2016. Vertical dashed line indicates the critical level  $10,0 \text{ mg kg}^{-1}$  of S,  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  of K,  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  of Ca and  $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  of Mg and horizontal dotted line indicates the relative yield of 84% .

A saturação por bases (V) quando superior e inferior a 60% não influenciaram no rendimento relativo da soja, com ocorrência de grande numero de tratamentos com RR inferior a 90%, conforme recomendação da CQFS/RS-SC (2016), nem quando foram aplicadas e reaplicadas doses de 0 a  $1600 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso, nas camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. A saturação por Al apresentou valores abaixo do teor crítico de 10% por tal não afetou a produtividade da cultura (Figura 3).

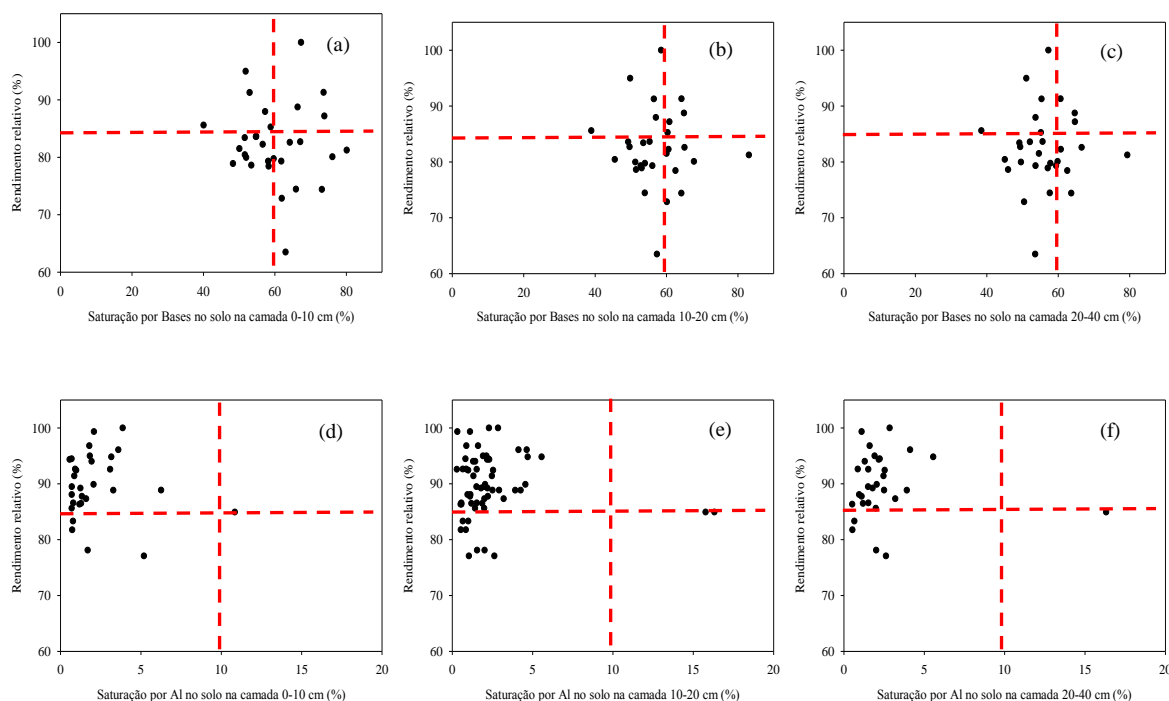
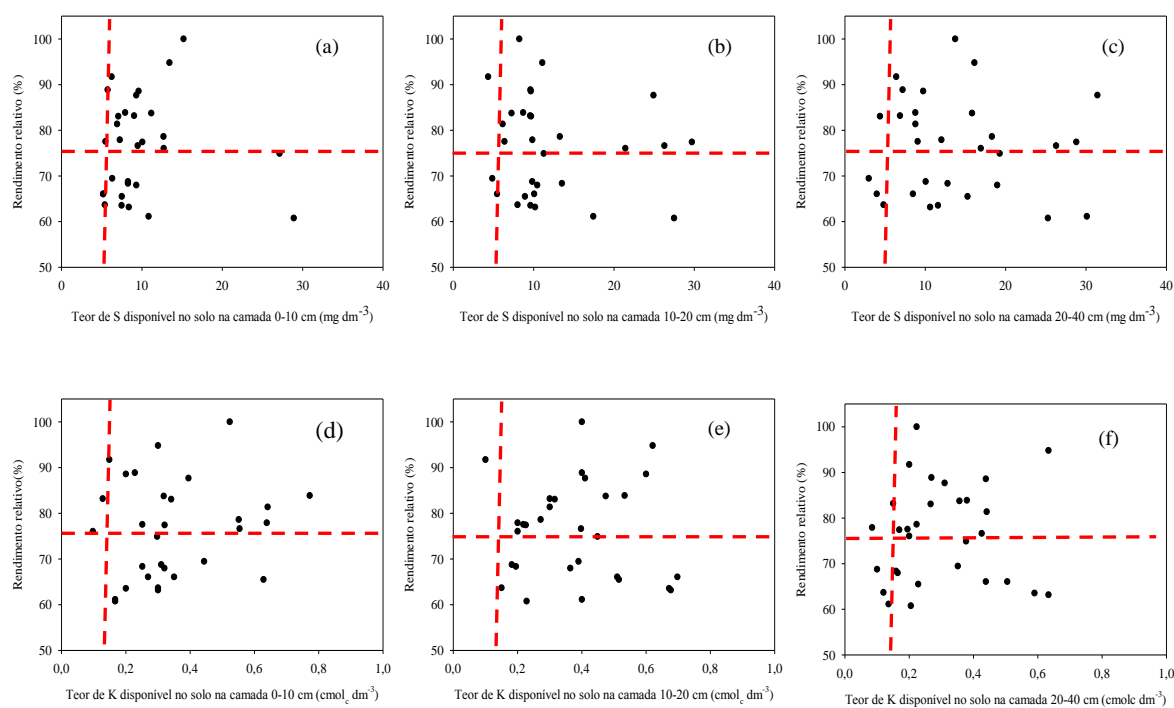


Figura 3. Relação entre saturação por bases (V) e saturação por Al (m) no solo nas camadas de 0–10 cm (a, b) 10–20 cm (c, d) e 20–40 cm (e, f) em função a diferentes doses e reaplicação de gesso e o rendimento relativo da soja em um Latossolo de Minga

Porá, Paraguai, 2015/2016. Linha pontilhada vertical indica o nível crítico de 60% de saturação por bases e 10% de saturação por Al e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 84%. Relation between basal saturation (V) and saturation by Al (m) in the soil in the layers of 0–10 cm (a, b) 10–20 cm (c, d) e 20–40 cm (e, f) depending on the different doses reapplication and the relative yield of soybeans in a Latossolo de Minga Porá, Paraguai, 2015/2016. Vertical dotted line indicates the critical level of 60% base saturation and 10% Al saturation and horizontal dotted line indicates the relative yield of 84%.

A relação do rendimento relativo de grãos do milho apresentou alto predomínio de valores menores a 90% com teores superiores a  $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ,  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de S, K, Ca e Mg respectivamente (Figura 5) segundo recomendação da CQFS/RS-SC (2016) independentemente a reaplicação de gesso no solo nas camada 0–10 cm, 10–20 cm e 20–40 cm.



(i)

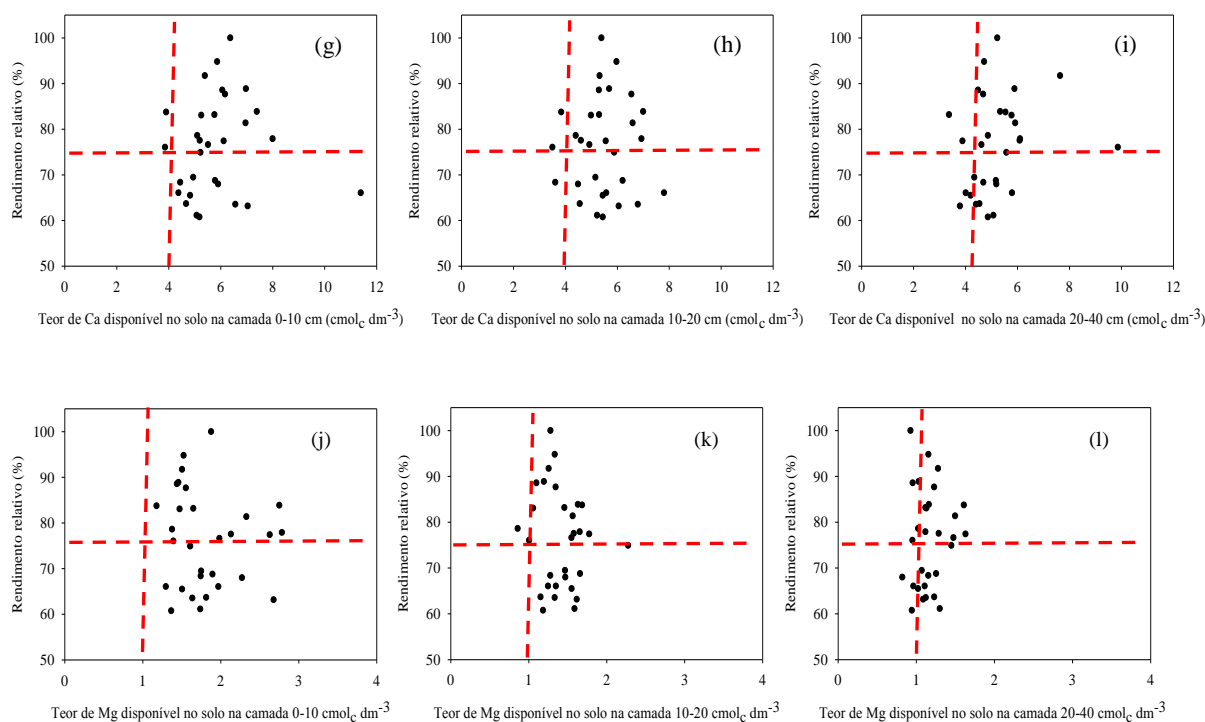


Figura 4. Relação entre teor de enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponível no solo das camadas de 0–10 cm (a, d, g, j) 10–20 cm (b, e, h, k) e 20–40 cm (c, f, i, l) em função a diferentes doses e aplicações de gesso e o rendimento relativo do milho safrinha em um Latossolo de Minga Porá, Paraguai, 2015/2016. Linha pontilhada vertical indica o nível crítico de  $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$  de S,  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de K,  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca e  $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg, e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 76%. Relationship between sulfur (S), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) available in soil layers of 0–10 cm (a, d, g, j) 10–20 cm (b, e, h, k) and 20–40 cm (c, f, i, l) depending on the different doses and application and the relative yield of second crop corn in Latossolo of Minga Porá, Paraguai, 2015/2016. Vertical dashed line indicates the critical level  $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$  of S,  $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  of K,  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  of Ca and  $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  of Mg, and horizontal dotted line indicates the relative yield of 76%.

O rendimento relativo do milho em função da reaplicação de doses de gesso não teve relação com a saturação por bases nas camadas 0–10, 10–20 e 20–40 cm (Figura 5), independente de valores inferiores a 60%. Os valores de saturação por Al no solo logo das aplicações de gesso agrícola e calcário já foram inferiores a 10% na sua totalidade, diminuindo a probabilidade de resposta a gessagem.

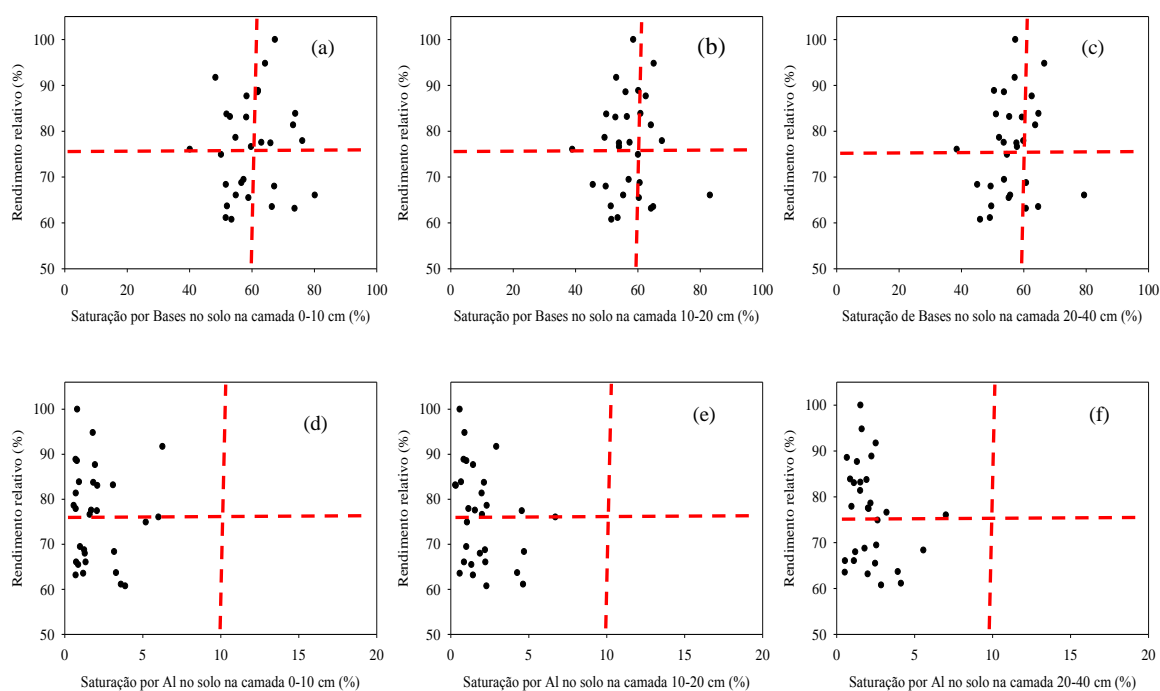


Figura 5. Relação entre saturação por bases (V) e saturação por Al (m) no solo nas camadas de 0–10 cm (a, b) 10–20 cm (c, d) e 20–40 cm (e, f) em função a diferentes doses e aplicação de gesso e o rendimento relativo do milho safrinha em um Latossolo de Minga Porá, Paraguai, 2015/2016. Linha pontilhada vertical indica o nível crítico de 60% de saturação por bases e 10% de saturação por Al e linha pontilhada horizontal indica o rendimento relativo de 76%. Relation between basal saturation (V) and saturation by Al (m) in the soil in the layers of 0–10 cm (a, b) 10–20 cm (c, d) e 20–40 cm (e, f) depending on the different doses application and the relative yield of second crop cron in Latossolo of Minga Porá, Paraguai, 2015/2016. Vertical dotted line indicates the critical level of 60% base saturation and 10% Al saturation and horizontal dotted line indicates the relative yield of 76%.

## Conclusões

Os componentes de produção e produtividade de grãos das culturas de soja e milho safrinha não foram influenciados pela aplicação e reaplicação de doses de gesso (0, 100, 200, 400, 800 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>). Os teores de Ca, Mg, S, P e K na folha e no grão das cultuvas de soja e milho safrinha não foram influenciadas pelo gessagem. Não houve relação entre o rendimento da soja e milho safrinha e os teores de S disponível, Ca, Mg e K trocáveis das camadas de 0–10, 10–20 e 20–40 cm.

## Referências

Alvarez VH, Roscoe R, Kurihara CH, Pereira, N (2007) Enxofre. In: Novais RF, Alvarez V, VH, Barros NF, Fontes RL, Cantarutti RB, Neves JC (eds) Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 595-644.

Broch DL, Pavinato PS, Possentti JC, Martin T, Del Quiqui EM (2011) Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. *Revista Ciência Agronômica* 3:791-796.

Caires EF, Fonseca AF, Mendes J, Chueiri WA, Madruga EF (1999) Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 23: 315-327. 1999.

Caires EF, Feldhaus, I.C.; Barth G, Garbuió F (2002) Lime and gypsum application on the wheat crop. *Scientia Agrícola*. 59:357-364. 2002.

Caires E, Blum J, Barth G, Garbuió F, Kusman M (2003) Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação no sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27:275-286.

Caires EF, Joris HAW, Churka S (2011a) Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. *Soil Use Manage* 27:45-53

Caires E, Garbuió F, Churka S, Joris HA (2011b) Use of Gypsum for Crop Grain Production under a Subtropical No-Till Cropping System. *Agronomy Journal* 103:1804-1814.

Caires EF; Zardo Filho R; Barth G; Joris, HA (2016) Optimizing Nitrogen Use Efficiency for No-Till Corn Production by Improving Root Growth and Capturing NO<sub>3</sub>-N in Subsoil. *Pedosphere* 26(1):474-485.

Cate RB, Nelson LA (1971) A simple statical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Journal* 5:658-660.

CAPECO (2017) Cámara Paraguaya de Cereales y Oleaginosas. Disponível em:< <http://www.capeco.org.py.htm>> (Acesso em 3 de out de 2017).

Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. Ed. Porto Alegre, 2016.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González, L (2011) Grupo InfoStat. FCA, UNC.

Embrapa (2013) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos, 3ed. Brasília. 353p.

Embrapa (2003) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Dourados, 60p.

Fatecha DA, John RW, Seben E, Samaniego LR, Hahn EO, Rasche JW (2017) Clasificación de parámetros químicos de suelos agrícolas de los Departamentos de Misiones, Itapúa y Alto Paraná. *Tecnología Agraria*, 2(1):8-16.

Fecoprod (2017) Federación de Cooperativas de Producción. Agroclimate Fecoprod. Disponível em: <<http://fecoprod.agroclimate.org>> (Acesso em 10 set 2017).

Ferreira AO, Amado TC, Dalla Nora D, Keller C, Bortolotto RP (2013) Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em Latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul. *Ciencia del Suelo* 31(1):1-13.

Fontoura SM, Bayer C, Vieira RC, Moraes RP (2012) Calcário e gesso. Efeito na produtividade de culturas e na melhoria química do solo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária. Guarapuava, 34p.

Gelain E, Rosa Junior EJ, Mercante FM, Fortes DG, Souza FR, Rosa YBCJ (2011) Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. *Ciência Agrotécnica* 35:259-69.

Koppen, W. 1931. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter. 390p.

Lana MC, Fey R, Frandoloso JF, Richart A, Fontaniva S (2016) Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório. 2da. ed. UNIOESTE. 153p.

López GO, González E, De Llamas P, Molinas A, Franco S, García S, Ríos E (1995) Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra. SSERNMA/MAG/Banco Mundial. 51p.

MAG (2017) Ministério de Agricultura y Ganaderia. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la agricultura paraguaya de la región Oriental. Hahn E (ed). Asunción, 194p.

Michalovick L (2012) Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho- cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto UNICENTRO (Disertação de Mestrado em Agronomia)

Maschietto E (2009) Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto. UEPG (Disertação de Mestrado em Agronomia)

Moda LR, Borges BM, Flores RA, Dos Santos CL; Prado RM, Sousa JI (2013) Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. *Revista Agro@mbiente*, 7:129-135.

Neis L, Paulino HB, De Souza EM, Dos Reis OF, Pinto FA (2010) Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34:409-416.

Niazi BH, Hussain N, Salim M, Hassan G, Ali A (2000) Effect of split application of gypsum on wheat yield and properties of a saline-sodic soil irrigated with brackish water. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2: 234-236.

Nuernberg NJ, Rech TD, Basso C (2005) Uso do gesso agrícola. Epagri 2 ed.. Florianópolis, 122p.

Oliveira PSR, Fittipaldi WLS, Oliveira Júnior PR, Gualberto R, Guimarães AM (2007) Efeitos de tipos de preparo do solo e uso de gesso agrícola sobre as características químicas e produtividade de milho e braquiária em cultivo consorciado. *Scientia Agraria Paranaensis* 6 (1-2) 53-65.

Osório Filho B, Rheinheimer DS, Da Silva L; Kaminski J, Dias G (2007) Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto *Ciência Rural* 37(3):712-719.

Pauletti V, Pierri LD, Ranzan T, Barth G, Motta AC (2014) Long-term effects of the application of gypsum and lime in a no-till system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38:495-505.

Paul, KW, Kubicki JD, Sparks DL (2007) Sulphate adsorption at the Fe-(hydroxide-H<sub>2</sub>O) interface: comparison of modified cluster and periodic DFT models. *European journal of soil science* 58: 978-986.

Pereira IO, Pinho Costa KA, Faquin V, Alcantara GM, Pereira BN, Machado EL (2009) *Ciências e agrotecnologia*. 33 (2) 592-598.

Raij B van, Furlani PR, Quaggio JA, Pettinelli JR (1998) Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:101-108.

Raij B van (2008). Gesso na agricultura. IAC. 233p.

Raij, B van (2011) Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. IPNI. 420p.

Rampim L, Lana M, Frandoloso JF, Fontaniva S (2011) Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35:1687-1698.

Rampim L, Borsoi A, Dal Molin PV, Mansano MV, Rosset JS, Lana MC, Lima PR, Guimarães VF, Ohland T, Klein J (2015) Foliar tissue, grain yield and economic return by surface application of gypsum and different number of soybean plants in precision seed drill. *African Journal of Agriculture Research* 10(13)1636-1646.

Rasche, JW (2004) Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul. UFSM (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo).

Rheinheimer DS, Rasche JW, Da Silva L, Osorio Filho B (2007) Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. *Ciência Rural* 37(2):363-371.

Rheinheimer DS, Rasche JW, Osorio Filho B, Da Silva L, Bortoluzzi E (2005) Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. *Ciência Rural* 35(3):562-569.

Rivetti AR (2007) Producción de maíz bajo diferentes regímenes de Riego complementario en Rio Cuarto *Revista Científica* 39 (1)29-39.

Rizzatti A (2016) Yeso agrícola aplicado en el cultivo de maíz y su residualidad en la soja. 60 p. Tesis de Grado (Carrera de Ingeniería Agronómica) Universidad Nacional del Este, Facultad de Ingeniería Agronómica, Itakyry.

Rodríguez A. (2016) Yeso agrícola y su efecto en el cultivo de maíz zafrina. Tesis de Grado (Carrera de Ingeniería Agronómica)- Universidad Nacional del Este, Facultad de Ingeniería Agronómica, Itakyry.

Sávio FL, Silva GC, Teixeira IR, Mota JH, Borém A (2011) Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada. *Revista Agrotecnologia* 2:19-31.

Schmidt F, Tomelero V, Bona DF (2016) Gesso agrícola e calcário aplicados no sistema de plantio direto com e sem revolvimento do solo. *Agropecuária Catarinense* 29 (1): 86-93.

Soares G (2016) Gesso e fósforo na sucessão soja/milho safrinha. UFG (Disertação de Mestrado em Agronomia).

Soaud AA, Al Darwish FH, Saleh ME, El-Tarabily KA, Arizum MS, Rahman MM (2011) Effects of elemental sulfur, phosphorous micronutrients and *Paraccocus versutus* on nutrient availability of calcareous soils. *Australian Journal of Crop Science* 5(5):554-561.

Somavilla L, Pinto MAB, Basso CJ, Da Ros CO, Silva VR, Brun T, Santi AL (2016) Response of soybean and corn to soil mechanical intervention and agricultural gypsum application to the soil surface. *Semina-Ciencias Agraris* 37: 95-102.

Soratto RP, Crusciol CAC (2008) Chemical soil attributes as affected by lime and phosphogypsum surface application in a recently established no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do solo* 32:675-688.

Sousa DM, Miranda LN, Oliveira AS (2007) Acidez do solo e sua correção. In: Novais RF, Alvarez V, VH, Barros NF, Fontes RL, Cantarutti RB, Neves JC (eds) *Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, p. 205-274.

Sousa DM, de Lobato E, Rein TA (2005) Uso do gesso em solos do Cerrado. *Embrapa Cerrados. Circular técnica* 32) 20 p.

SBCS- NEPAR (2017) *Sociedade Brasileira de Ciência de Solo. Núcleo Estadual Paraná. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná*. 482p.



Tang C, Rengel Z, Diatloff E, Gazey C (2003) Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. *Field Crops Research*. 80:235–244.

Tiecher T, Rheinheimer DS, Rasche JW, Brunetto G, Mallman FJ, Piccin R (2012) Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetida à adubação sulfatada. *Bragantia* 20:1-10.

Vicensi M, Lopes Muller M, Kawakami J, Nascimento R, Michalovicz L. Lopes C (2016) Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage System. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 40:150-155.

Watanabe S (2013) Aplicación de yeso y cal agrícola en la sucesión soja – trigo en siembra directa en un Ultisol 103 p. (Disertación – Maestría en Suelos y Ordenamiento Territorial) – Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, San Lorenzo, Paraguay

Zandoná RR, Beutler NA, Burg GM, Barreto CF, Schmidt MR (2015) Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45:128-137.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

1. A aplicação do gesso agrícola embora não tenha influenciado na produtividade das culturas de soja e milho, deve-se considerar sua aplicação a fim de elevar os teores de S, e proporcionar um melhor ambiente radicular.
2. Nas áreas de Argissolo e Latossolo do estudo avaliado a textura do solo não deve ser considerada como um critério básico para definir doses de gesso a ser aplicadas em culturas anuais, em virtude aos resultados obtidos neste experimento.
3. A aplicação de doses menores de gesso agrícola resulta uma alternativa válida a fim de evitar excessiva migração do potássio trocável no solo.
4. Deve-se considerar a realização de estudos com uso de gesso agrícola com período de avaliação superior a dois anos, a fim de obter resultados em período de tempo maior com possibilidade de avaliar a influência de condições de déficit hídrico.
5. O gesso agrícola pode suprir enxofre em sistemas de produção de culturas, aqueles preconizados pelo alto consumo de fertilizantes concentrados com pouco ou nenhum enxofre, e cultivados em solos explorados há muito tempo e com problemas de degradação química e física.