

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE – RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**GESSO OU INTERVENÇÃO MECÂNICA NAS
MELHORIAS DO GRADIENTE DE CÁTIONS DO
SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA SOJA E MILHO EM
PLANTIO DIRETO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Lucindo Somavilla

**Frederico Westphalen, RS, Brasil
2014**

PPGAAA/UFSM, RS

SOMAVILLA, Lucindo Mestre 2014

**Gesso ou intervenção mecânica nas melhorias do
gradiente de cátions do solo e na produtividade da soja e
milho em plantio direto**

Lucindo Somavilla

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Claudir José Basso

**Frederico Westphalen, RS, Brasil
2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Somavilla, Lucindo

Gesso ou intervenção mecânica nas melhorias do gradiente de cátions do solo e na produtividade da soja e milho em plantio direto / Lucindo Somavilla.-2014.

83 p.; 30cm

Orientador: Claudir José Basso

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS-FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2014

1. Gesso Agrícola 2. Inversão de Camadas 3. Enxofre 4. Escarificação 5. Perfil do solo I. Basso, Claudir José II. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Lucindo Somavilla. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro, s/nº, BR 386 km 40, Frederico Westphalen, RS.

Caixa Postal 54, CEP: 98400-000

Fone (55) 3744-8964; E-mail: lucindosomavilla@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Superior Norte – RS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e
Ambiente**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

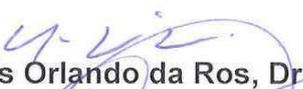
**GESSO OU INTERVENÇÃO MECÂNICA NAS MELHORIAS DO
GRADIENTE DE CÁTIOS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA
SOJA E MILHO EM PLANTIO DIRETO**

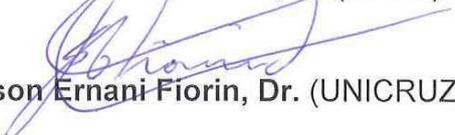
elaborada por
Lucindo Somavilla

Como requisito parcial para o grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:


Claudir José Basso, Dr.(UFSM)
(Presidente/Orientador)


Clovis Orlando da Ros, Dr.(UFSM)


Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UNICRUZ)

Frederico Westphalen, 28 de Fevereiro de 2014

*Dedico este trabalho à minha
esposa Francieli e à filha Valentina
Somavilla.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por iluminar o caminho na conquista de mais um objetivo;

A Universidade Federal de Santa Maria pelo incentivo e disponibilidade da qualificação profissional na minha carreira de Técnico Administrativo em Educação.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia Agricultura e Ambiente pela oportunidade de realização do mestrado;

Ao professor Dr Claudir José Basso pela confiança, orientação, dedicação e amizade;

Ao professor Antônio Luis Santi e seus familiares pela disponibilidade da área para realização deste trabalho;

Ao professor Clovis Orlando da Ros pela disponibilidade do laboratório de análise de solos, troca de experiência e sugestões;

Aos demais professores colaboradores do Programa de Pós-Graduação pela proximidade e auxílio;

Ao colega de trabalho no laboratório de solos, Diego Ricardo Menegol, pelo auxílio, sugestões e amizade;

Aos alunos de Agronomia do grupo de pesquisa: Thiarles, Edivan, Diego, Breno, Arthur, Guilherme, Elizandro, Natan, Dionei, Rossano e Marlo pelo suporte no trabalho árduo de coleta de solo e plantas no campo e auxílio no laboratório;

Ao colega de Mestrado do grupo de pesquisa, Cristiano Fabbris, pelo companheirismo, disponibilidade e dedicação na condução das atividades do grupo e, nos momentos em que nos auxiliamos por conta do mestrado;

A minha esposa Francieli pelo carinho, compreensão e força para que eu realizasse o mestrado, por abster-se do descanso e do lazer em muitos feriados e finais de semana para estar do meu lado auxiliando nas atividades de laboratório. Não posso deixar de agradecê-la, por ter gerado e dado a luz a nossa filha Valentina, que veio ao mundo como uma benção no momento de finalização deste trabalho, sendo fonte de força e inspiração.

E, a todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente
Universidade Federal de Santa Maria

GESSO OU INTERVENÇÃO MECÂNICA NAS MELHORIAS DO GRADIENTE DE CÁTIOS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA SOJA E MILHO EM PLANTIO DIRETO

Autor: Lucindo Somavilla
Orientador: Dr. Claudir José Basso
Local e Data da Defesa: Frederico Westphalen, 28 de Fevereiro de 2014.

O Sistema de Plantio Direto (SPD), difundido em cerca de 70% das lavouras produtoras de grãos, surgiu como alternativa conservacionista às perdas de solo por conta do sistema de preparo convencional. No entanto, tem-se observado nos últimos anos que as premissas básicas desse sistema não estão sendo consideradas, repercutindo em adensamento de camadas e conseqüentemente menor infiltração e armazenamento de água no solo. Além disso, e por conta das características do próprio sistema, tem-se observado a formação de um gradiente de fertilidade com altas concentrações de nutrientes nas camadas superficiais do solo. Com isso, a maior meta a ser cumprida é a de criar condições físico-químicas do solo, capazes de permitirem a maior infiltração e armazenamento de água, o crescimento de raízes e a capacidade de absorção tanto da água quanto dos nutrientes em profundidade, em função da vulnerabilidade das lavouras de soja e milho a déficits hídricos recorrentes no estado do RS. O gesso agrícola tem sido apontado como melhorador das características químicas do subsolo, visto sua capacidade de carrear cátions e enxofre para camadas inferiores do perfil, além de alterar formas tóxicas de alumínio às plantas. Agricultores da região norte do RS estão especulando a utilização deste produto, sem observarem grandes retornos à produção de grãos, que carece de respaldo técnico científico nas condições edafoclimáticas locais. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo verificar o efeito do gesso agrícola aliado a intervenções mecânicas de um sistema de plantio direto, sobre o gradiente de cátions no perfil do solo e no cultivo de soja e milho. Foram realizada aplicação de doses de gesso agrícola sobre a superfície de solo, com e sem intervenção mecânica, efetuando-se o cultivo da sucessão soja/milho sob plantas de cobertura por quatro safras (2009/10, 2010/11, 2011/12 e 2012/13). Os resultados apontaram que as intervenções mecânicas do solo não influenciam os efeitos do gesso sobre o gradiente de cátions no perfil do solo e as produtividade de grãos do milho e soja; A intervenção do solo com aração+gradagem altera o gradiente de Ca^{2+} no solo sob SPD e, o gesso tem pouco potencial de mobilizar verticalmente os cátions do solo, sendo que os efeitos são limitados aos 0,10 m de profundidade; O uso do gesso agrícola mostra pouca maximização na produção de soja e boa maximização na produção de milho, sendo o aporte de enxofre no solo o principal fator maximizador.

Palavras-chave: escarificação; inversão de camadas; enxofre.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment
Federal University of Santa Maria

GYP SUM OR MECHANICAL INTERVENTION IN IMPROVEMENTS OF GRADIENT CATIONS SOIL AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN AND CORN IN NO-TILLAGE

Author: Lucindo Somavilla
Adviser: Dr. Claudir José Basso
Defense Place and Date: FredericoWestphalen, February 28, 2014.

The No-Tillage (NT) diffused in about 70 % of producing grain crops and has emerged as an alternative to soil losses due to the conventional tillage. However, it has been observed in recent years that the basic assumptions of this system are not being considered, reflecting in densification of layers and therefore lower infiltration and soil water storage. Furthermore, due to the characteristics of the system itself, it has been observed the formation of a fertility gradient with high nutrient concentrations in the superficial layers of the soil. With this, the highest goal to be accomplished is to create physical and chemical soil conditions, able to permit greater infiltration and water storage, root growth and absorption capacity of both water and nutrients in depth, depending the vulnerability of soybean and maize recurrent water deficits in the state of RS. The gypsum has been touted as enhancing the chemical characteristics of the subsoil, as his ability to deliver cation and sulphur to lower layers of the listing, in addition to eliminating toxic forms of aluminium to plants. Farmers from the northern region of RS are speculating using this product without observing large returns to grain production, which lacks scientific technical soil and climate in the local conditions. In this sense, this study aimed to verify the effect of gypsum combined with mechanical interventions of a consolidated system of zero tillage on the gradient of cation in the soil profile and the cultivation of soybeans and corn. Application rates of gypsum were performed on the soil surface, with and without mechanical intervention, making it the cultivation of soybeans/corn plants under cover for four seasons (2009/10, 2010/11, 2011/12 and 2012/13). The results showed that the mechanical operations of the soil did not influence the effects of gypsum on the gradient of cations in the soil profile and grain yield of corn and soybeans; Intervention soil with plowing+disking alters the Ca^{2+} gradient in the soil under NT and the plaster has little potential to mobilize cations vertically soil, and the effects are limited to 0.10 m depth; Use of gypsum shows little maximizing soybean production and maximizing good for corn production, being the contribution of sulfur in soil maximizing main factor.

Key words: Scarification; inversion layer; sulphur.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Tabela 1** – Caracterização das camadas de solo até 0,40 m de profundidade antes da implantação do experimento, Frederico Westphalen – RS, 2014. 24
- Tabela 2** – Análise da variância com valores da probabilidade do teste F, nas interações de profundidade, gesso e intervenções mecânicas do solo, para as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e $S-SO_4^{2-}$, após 36 meses da aplicação dos tratamentos, Frederico Westphalen, RS, 2014. 27

ARTIGO 2

- Tabela 1** – Caracterização das camadas de solo até 0,40 m de profundidade antes da implantação do experimento. Frederico Westphalen – RS, 2014. 52
- Tabela 2** – Resumo da análise da variância com valores da probabilidade do teste F para altura de plantas (AP), altura de inserção de legumes (AiL), legumes por planta (LP), grãos por planta (GP), produtividade (Prod.) e peso de mil grãos (PMG), das duas safras de soja cultivada após intervenções mecânicas e aplicação de doses de gesso na superfície do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014. 57
- Tabela 3** – Resumo da análise da variância com valores de probabilidade do teste F, para altura de plantas (AP), altura de inserção de espigas (AiE), produtividade (Prod.) e peso de mil grãos (PMG), das duas safras de milho cultivado após intervenções mecânicas e aplicação de doses de gesso na superfície do solo, Frederico Westphalen, RS, 2014. 61

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- Figura 1** – Precipitação pluviométrica acumulada mensal durante o período do experimento. Dados de precipitação obtidos da estação meteorológica automática do INMET em Frederico Westphalen, RS, 2014. 23
- Figura 2** – Gesso na superfície do solo no estabelecimento vegetativo da aveia branca logo após a aplicação de cada dose: 0 Mg ha⁻¹ (a) 2 Mg ha⁻¹ (b) 4 Mg ha⁻¹ (c) e 6 Mg ha⁻¹ (c), Frederico Westphalen – RS, 2014..... 25
- Figura 3** – Abertura das trincheiras com trado de rosca (a) para coleta manual de solo (b; c) em camadas do perfil (e) de cada sub-subparcela, Jaboticaba – RS, 2014..... 26
- Figura 4** – Teores de Ca²⁺ no perfil do solo, antes e após as intervenções mecânicas do solo. Média das doses de gesso. Frederico Westphalen, RS, 2014. 28
- Figura 5** – Teores de Ca²⁺ no perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em superfície do solo. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014..... 29
- Figura 6** – Teores de Ca²⁺ para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014. 30
- Figura 7** – Teores de Mg²⁺ no perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em superfície do solo. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014..... 32
- Figura 8** – Teores de Mg²⁺ para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014. 33
- Figura 9** – Relação Ca²⁺/Mg²⁺ para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície. Frederico Westphalen, RS, 2014..... 35
- Figura 10** – Teores de K⁺ no perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em superfície do solo, Jaboticaba, RS, 2014. 36

- Figura 11** – Teores de K^+ para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014. 37
- Figura 12** – Teores de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em aplicadas superfície do solo. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014. 39
- Figura 13** – Teores de $S-SO_4^{2-}$ para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície do solo. Médias das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2012. 41

ARTIGO 2

- Figura1** – Precipitação pluviométrica diária para as safras de soja 2009/2010 (A), milho 2010/2011 (B), soja 2011/2012 (C) e milho 2012/2013 (D). Frederico Westphalen – RS..... 53
- Figura 2** – Produtividade de grãos da soja na safra 2009/2010 e 2011/2012, em função da aplicação superficial de doses de gesso. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014. 60
- Figura 3** – Valores de PMG do milho na safra 2010/2011 em função das doses de gesso aplicadas em superfície do solo, para diferentes intervenções mecânicas. Frederico Westphalen – RS, 2014..... 62
- Figura 4** – Produtividade do milho na safra 2010/2011 em função das doses de gesso aplicadas em superfície do solo, para diferentes intervenções mecânicas. Frederico Westphalen – RS, 2014..... 63
- Figura 5** – Produtividade do milho na safra 2010/2011 e 2012/2013 em função das doses de gesso aplicadas na superfície do solo. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014. 65

LISTA DE APÊNDICE

- Apêndice A – Distribuição dos teores de P nas camadas do perfil do solo, antes e após as intervenções mecânicas do solo, Frederico Westphalen, RS, 2014.....80**
- Apêndice B – Distribuição dos teores de P nas camadas do perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em superfície do solo, Frederico Westphalen, RS, 2014.81**
- Apêndice C – Teores de P para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicados em superfície, Frederico Westphalen, RS, 2014.....82**
- Apêndice D – Teores médios de Ca^{2+} , Mg^{2+} , relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, K^+ , S-SO_4^{2-} e P nas camadas do perfil do solo, antes do experimento, para cada dose de gesso em SPD contínuo e para cada tipo de intervenção mecânica na ausência de gesso, após 36 meses da instalação do experimento, Frederico Westphalen, RS, 2014.....83**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 ARTIGO 1: INTERVENÇÃO MECÂNICA E DOSES DE GESSO NA MITIGAÇÃO DO GRADIENTE VERTICAL DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO EM SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO.....	18
2.1 Resumo.....	18
2.2 Abstract.....	19
2.3 Introdução	19
2.4 Material e Métodos	22
2.5 Resultados e Discussão.....	26
2.5.1 Teores de Ca^{2+} no perfil do solo	27
2.5.2 Teores de Mg^{2+} no perfil do solo.....	31
2.5.3 Teores de K^{+} no perfil do solo.....	35
2.5.4 Teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) no perfil do solo	38
2.6 Conclusão	42
2.7 Referências Bibliográficas.....	42
3 ARTIGO 2: RESPOSTA DA SOJA E DO MILHO A INTERVENÇÃO MECÂNICA E A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE	48
3.1 Resumo.....	48
3.2 Abstract.....	49
3.3 Introdução	49
3.4 Material e Métodos	52
3.5 Resultados e Discussão.....	56
3.5.1 Cultura da soja.....	56
3.5.2 Cultura do Milho.....	60
3.6 Conclusão	66
3.7 Referências Bibliográficas.....	67
4 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES	73
5 CONCLUSÃO FINAL	76
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
7 APÊNDICES.....	80

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura está sempre em constantes transformações e inovações técnicas para contornar problemas, ser competitiva, manter a sustentabilidade e visar lucros aos investidores. A sustentabilidade é o eixo central que está em foco atualmente, ao qual gira todos os esforços por parte de técnicos e principalmente entidades de pesquisa, que buscam atentar os agricultores na manutenção, preservação e otimização do meio produtivo, com especial atenção ao solo, como sendo o meio essencial para os cultivos. Nas últimas décadas inovações no uso e manejo do solo motivou a adoção e a própria expansão do sistema plantio direto, originado, além do fator econômico, pela intolerância de se conviver com perdas de solo, que vinham ocorrendo em função do excessivo revolvimento no seu preparo convencional e ausência de cultivo durante os meses de inverno.

O sistema plantio direto (SPD) está difundido na quase que totalidade das lavouras de terras altas do Brasil, segundo dados da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP, 2012) equivalem a 31,8 milhões de hectares. O SPD surgiu como alternativa conservacionista às perdas de solo das lavouras cultivadas intensivamente sob sistema convencional de revolvimento do solo. Constitui em um complexo de técnicas compondo um sistema que tem como preceitos a restrição à mobilização do solo estritamente na linha de semeadura, a cobertura permanente da superfície do solo, seja com plantas vivas ou restos vegetais, e a rotação de culturas (DENARDIN et al., 2001).

No manejo sustentável do solo, buscando uma produtividade satisfatória das culturas, na conservação do solo e na qualidade da água, e na maior eficiência no uso dos recursos investidos na produção, a meta a ser atingida é a de criar condições físico-químicas no solo, capazes de permitirem a infiltração e o armazenamento de água, o maior crescimento de raízes e a capacidade de absorção tanto da água quanto dos nutrientes em profundidade. Isso porque nas condições climáticas do RS um limitante da produção agrícola e da viabilização do homem no meio rural tem sido as recorrentes estiagens com má distribuição das chuvas (JUNGES & CARDOSO, 2012).

Por outro lado, o que tem se observado ao longo dos anos em áreas de plantio direto, é um aumento da compactação do solo (COLLARES et al., 2008; DENARDIN et al., 2008, DRESCHER et al., 2011) limitando o crescimento radicular e a taxa de infiltração de água no solo (REICHERT et al. 2007; DENARDIN et al., 2009). Além disso, a redução na rugosidade superficial em áreas sob plantio direto há alguns anos (PANACHUKI et al., 2011), associada à baixa produção de palhada em muitas situações, estão potencializando perdas de água por escoamento superficial (DENARDIN et al., 2008), preocupação essa que se acentua quando se observa que grande parte dos produtores da região sul acabaram por retirar indiscriminadamente boa parte dos terraços das lavouras em áreas exploradas com esse sistema (DENARDIN, et al., 2009).

Esses problemas são mais graves, quando se observa na prática, gradiente de fertilidade no perfil do solo (DENARDIN, 2012). Tal gradiente mostra elevados teores de nutrientes nas camadas superficiais (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; NEIS et al., 2010) e de alumínio tóxico nas camadas mais inferiores (5-20 cm) do solo (CIOTTA, et al., 2002) causando toxidez às plantas com distrofia e disfuncionalidade de raízes (MACHADO, 1997), que coligado aos problemas mencionados acima, pode estar potencializando perdas dos nutrientes para os mananciais hídricos juntamente com a água escoada em superfície, limitação do crescimento radicular em profundidade, consequentemente a absorção de água e nutrientes do solo pelas plantas.

Intervenções mecânicas em solos sob SPD contínuo, principalmente com escarificador, já foram alvo de estudo com propósitos de buscar melhorias para tais problemas, cujos resultados além de serem poucos duradouros, geralmente não proporcionam incrementos em produtividade (SECCO et al., 2004, 2005; CAMARA; KLEIN, 2005; DRESCHER et al., 2011), embora muitas vezes contribuem para maior rugosidade superficial e consequentemente infiltração de água no solo (PRANDO et al., 2010; PANACHUKI et al., 2011). Mas acontecem muitas vezes na prática, que os agricultores, desinformados, realizam desnecessárias intervenções, sem critérios técnicos, e em condições de umidade desfavoráveis, não alcançando os resultados esperados (DENARDIN et al., 2008).

O gesso agrícola ou fosfogesso é um sal neutro ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – sulfato de cálcio), obtido como subproduto da indústria de fertilizante, resultante da ação do ácido sulfúrico sobre a rocha fosfatada na fabricação de ácido fosfórico, que pode

ocorrer naturalmente de forma similar em jazidas, tem sido muito utilizado na correção química do perfil do solo (SOUSA et al., 2005). A composição química média básica deste produto gira em torno do enxofre (17%), cálcio (17-20%) e água livre (15%) (NUERNBERG et al., 2005), com a presença de traços de flúor (0,2%) e fósforo (0,7% de P_2O_5) (RAMOS, 2012), que são liberados à solução do solo durante a sua solubilização, após aplicação superficial ou incorporada.

O sulfato (SO_4^{2-}) tem a capacidade de se ligar a outros nutrientes catiônicos resultando em pares de íons de carga nula (RAMOS et al., 2013), mais propensos ao deslocamento vertical no perfil do solo juntamente com a água em movimento de fluxo de massa (OSÓRIO-FILHO, 2006). Esse mecanismo é responsável pela melhoria dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , relação Ca^{2+}/Mg^{2+} , além da formação de espécies menos tóxicas de alumínio em subsuperfície do solo (CARVALHO; RAIJ, 1997; CAIRES, 2003, 2004; MASCHIETTO, 2009; RAMPIM et al., 2011), dando condições para que as raízes das plantas cresçam em profundidade, explorem maior volume de solo, maximizando a absorção de água e nutrientes. No trabalho de Caíres et al., (2004), por exemplo, o uso do gesso melhorou os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} , em profundidade, bem como, a concentração de nitrogênio, potássio e cálcio no tecido foliar do milho.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso do gesso agrícola e de intervenção mecânica, sobre os gradientes de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no perfil de solo sob SPD e, verificar as respostas do milho e da soja até 48 meses da aplicação dos tratamentos, nas condições de cultivo de uma propriedade rural representativa das condições edafoclimáticas da região do médio alto Uruguai do Rio Grande do Sul.

2 ARTIGO 1: INTERVENÇÃO MECÂNICA E DOSES DE GESSO NA MITIGAÇÃO DO GRADIENTE VERTICAL DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO EM SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

2.1 Resumo

Os solos em uso sob sistema plantio direto (SPD) estão apresentando problemas de gradiente de fertilidade em seu perfil por conta das próprias características do sistema, que tem deposição dos restos culturais e sua decomposição em superfície. Além disso, os corretivos de acidez e parte das fertilizações das culturas são depositados, na maioria das vezes, a lançar em superfície. O gesso agrícola tem sido um produto apontado como deslocador de cátions em profundidade no solo. Já as intervenções mecânicas são exploradas geralmente como mitigação de adversidades físicas do solo. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso do gesso agrícola e de intervenção mecânica, como ferramentas para mitigar os gradientes de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no perfil de solo sob SPD. O experimento consistiu em doses de gesso (0; 2; 4 e 6 Mg ha^{-1}) aplicadas em superfície do solo após intervenções mecânicas (sem intervenção; aração+gradagem; escarificação) e o solo cultivado com soja, milho e cereais de inverno. Após 36 meses da aplicação dos tratamentos coletou-se solo nas camadas do perfil do solo (0-0,025; 0,025-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m) e determinaram-se os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Os resultados revelaram que as intervenções mecânicas do solo não influenciam a ação do gesso agrícola sobre o gradiente de cátions no perfil, quando aplicado em superfície após as operações; O gradiente de Ca^{2+} no solo sob SPD é amenizado com intervenção de aração+gradagem até a profundidade de 0,10 m e, o gesso aumenta os teores no solo até esta mesma profundidade. O uso do gesso agrícola aplicado em superfície do solo tem pouco potencial de mobilizar verticalmente Mg^{2+} e K^+ no perfil do solo, visto que o deslocamento é limitado aos 0,10 m de profundidade.

Palavras-chave: Cátions; escarificação; aração; perfil do solo.

MECHANICAL INTERVENTION AND DOSES OF GYPISUM AND MITIGATION IN THE VERTICAL GRADIENT OF CALCIUM MAGNESIUM AND POTASSIUM IN SOIL IN NO-TILLAGE SYSTEMS

2.2 Abstract

Soils in use in no-tillage are presenting problems with fertility gradient profile for the account of the characteristics of the system, which has deposition of cultural remains and its decomposition into surface. In addition, the acidity correctors and part of the fertilization of cultures are deposited, in most cases, casting on surface. The gypsum has been touted as a product shifter cation deep into the soil. Mechanical interventions are usually operated as mitigation of soil physical adversity. In this sense, the goal of this study was to evaluate the use of gypsum and mechanical intervention, as tools to mitigate the gradients of Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ in the soil under no-tillage. The experiment consisted in rates of gypsum (0, 2, 4 and 6 Mg ha^{-1}) applied to the soil surface after mechanical interventions (without intervention; plowing+disking, chiseling) and soil cultivated with soybeans, maize and winter cereals. After 36 months of treatment application was collected soil layers in the soil profile (0-0.025, 0.025-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m) were determined and the concentrations of Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ . The results showed that soil mechanical interventions do not influence the action of gypsum on the gradient of cations in profile, when applied to the surface after operations. The Ca^{2+} gradient in soil under NT is mitigated with the use of plowing and disking to a depth of 0.10 m, gypsum increases the levels in the soil until this very deep. The use of gypsum applied to the soil surface has little potential to mobilize vertically Mg^{2+} and K^+ in the soil profile, since the displacement is limited to the depth of 0.10 m.

Key words: Cation; chiseling; plowing; the soil profile.

2.3 Introdução

A larga adoção do sistema de plantio direto (SPD) frente o não revolvimento do solo, aporte de resíduos vegetais e rotação de culturas, como premissa básica desse sistema (GOULART, 2009), aliado a ciclagem e altas exportações de nutrientes pelas culturas, dentre outros fatores, levaram às reformulações de tabelas de adubações e critérios de recomendação de calagem (NOLLA et al., 2005;

NOLLA; ANGHINONI, 2006). Para a manutenção do pH desejável as culturas em SPD consolidado, passou-se a aplicar e manutenção do calcário apenas em superfície (CQFS-RS/SC, 2004), preservando a integridade física do solo e, as fertilizações das culturas depositadas nos primeiros centímetros superficiais. Mais recentemente, as fertilizações a lanço em superfície também passaram a ser comuns como ferramenta para melhorar a operacionalidade na propriedade e também na aplicação em taxa variável na agricultura de precisão (SANTI et al. 2012). Porém, o que tem se observado na prática é que em algumas situações, solos manejados sob SPD apresentam um gradiente de fertilidade no seu perfil (NEIS et al., 2010; DENARDIN, 2012, SANTI et al., 2012). Tal gradiente mostra elevados teores de nutrientes nas camadas superficiais (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; NEIS et al., 2010; SANTI et al., 2012; SCHLINDWEIN et al., 2013) e em algumas situações de alumínio tóxico nas camadas inferiores (CIOTTA et al., 2002) causando toxidez, distrofia e disfuncionalidade de raízes (MACHADO, 1997). Tais pesquisadores já tem caminhado em busca de alternativas para mitigar tal problema, e a aplicação bem planejada de fertilizantes à taxa variada na agricultura de precisão, por exemplo, tem se mostrado uma ferramenta eficiente para alguns nutrientes, excluindo a necessidade de inversão de camadas de solo (SANTI et al., 2012).

Tem se constatado ainda, que ao longo dos anos as áreas de SPD que estão associadas ao mau manejo (falta de rotação de cultura, ausência de palhada), mostram um aumento da compactação do solo (COLLARES et al., 2008; NEIS et al., 2010) limitando o crescimento radicular e a taxa de infiltração de água no solo (REICHERT et al., 2007; DENARDIN, 2009), que associado ao gradiente de fertilidade, pode estar potencializando perdas de nutrientes via escoamento superficial (DENARDIN et al. 2008), limitando o crescimento radicular em profundidade e consequentemente a absorção de água e nutrientes do solo pelas plantas. Muitas vezes para mitigar esses problemas são necessárias intervenções mecânicas, como arações e/ou escarificações, que apesar de um efeito efêmero do ponto de vista físico (DRESCHER et al., 2011) são ferramentas alternativas. Com isso, a mobilidade vertical de nutrientes, sobretudo de cátions, em solos manejados em SPD passou a ser de interesse dos pesquisadores no entendimento da distribuição e disponibilidade em maior profundidade no perfil (DELLA-FLORA et al., 2007; ERNANI et al., 2007; WERLE et al., 2008).

Cálcio, magnésio e potássio (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , respectivamente), principais cátions macronutrientes, merecem especial atenção quanto os seus teores e distribuição no perfil, pois quando os teores são suficientes no solo, mesmo em condições de alta acidez é possível obter elevada produção de soja, por exemplo, desde que o teor de alumínio não seja muito elevado (CAIRES et al., 1998). A distribuição destes cátions no perfil do solo pode ser afetada pelo sistema de manejo, onde geralmente apresenta maiores concentrações na superfície quando em sistema plantio direto e melhor distribuição em sistema convencional (PAVINATO et al., 2009). Já a mobilidade no perfil, sobretudo Ca^{2+} e Mg^{2+} provenientes da dissolução do calcário, depende de vários fatores, dentre eles da neutralização das camadas superiores, da dose de calcário e do tempo de aplicação (RHEINHEIMER et al., 2000). Meda et al. (2002) reportam em torno de três métodos para provocar a descida de cátions no perfil: a incorporação mecanizada, a mobilização químico-orgânica e a mobilização químico-inorgânica, esta última, refere-se ao uso de sais neutros, dentre eles o gesso agrícola.

O enxofre na forma de sulfato (S-SO_4^{-2}) é um macro nutriente que é pouco utilizado nos programas de fertilizações visto que mais de 90% do total presente no solo é proveniente da matéria orgânica (SOLOMON et al., 2005) e, esta estando concentrada nas primeiras camadas do perfil, em algumas situações pode limitar a sua disponibilidade nas camadas inferiores. Os solos argilosos e com teores elevados de óxidos de ferro apresentam alta capacidade de retenção do ânion SO_4^{-2} , tornando a sua movimentação no perfil mais lenta, comparativamente a solos com menor quantidade desses grupos funcionais (OSORIO-FILHO, 2006). A sua movimentação é facilitada devido a capacidade de ligação do ânion SO_4^{-2} com cátions formando pares de íons com carga nula, de alta capacidade de descida no perfil (DIAS, 1992; CREMON et al., 2009). As propriedades físicas do solo como condutividade hidráulica e a porosidade afetam e controlam a taxa de movimento de água no solo e, por consequência, desses pares de íons, uma vez que principal mecanismo pelo qual o S-SO_4^{-2} solúvel em água se movimenta é o fluxo de massa (OSORIO-FILHO, 2006).

Muito difundido nas lavouras de área provenientes do cerrado brasileiro, o uso do gesso agrícola é uma ótima alternativa na correção química do perfil do solo (QUAGGIO et al., 1993; CAIRES et al., 1998, 2003, 2004, 2006; SOUSA et al., 2005; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; RAMOS et al., 2013), que ainda é pouco comum e

carece de informações nas condições edafo-climáticas na região do Médio Alto Uruguai do Rio Grande do Sul, onde agricultores já especulam a sua utilização.

O gesso é fonte de Ca (30% de CaO), F (0,2%), P (0,7% de P₂O₅) e S (17,7%) (RAMOS, 2012) e quando aplicado na superfície do solo, o S-SO₄⁻² proveniente de sua dissolução tem a capacidade de carregar cátions para as camadas subsuperficiais (QUAGGIO et al. 1993; CAIRES et al., 2003; MASCHIETTO, 2009; RAMPIM et al., 2011; SERAFIM et al., 2012; RAMOS et al., 2013), de alterar as formas tóxicas de alumínio (CAIRES et al., 1999; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; RAMPIM et al., 2011), condicionando o crescimento radicular em profundidade e conseqüentemente a exploração de um maior volume de solo em busca de água e nutrientes. Isso permite as plantas superarem veranicos e absorver com eficiência os nutrientes aplicados ao solo (CAIRES et al., 2001, SORATTO; CRUSCIOL, 2008b), além de proporcionar qualidade aos grãos colhidos (CAIRES et al., 2006). Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso do gesso agrícola e de intervenção mecânica, como ferramentas para mitigar os gradientes de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ no perfil de solo sob SPD.

2.4 Material e Métodos

O experimento foi conduzido de Julho de 2009 a Julho de 2012 no município de Jaboticaba – RS, cujas coordenadas geográficas são 27°40'29,03" sul e 53°17'51,28" oeste. O clima é subtropical úmido, Cfa, conforme classificação de Köppen (MORENO, 1961). A precipitação pluviométrica acumulada mensal, durante o período do experimento, foi obtida de dados coletados diariamente junto à estação meteorológica automática do INMET, instalada em Frederico Westphalen – RS, a 40 km do experimento, conforme apresentado na figura 1.

A área experimental foi uma lavoura comercial cujo solo é caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006) e vinha sendo cultivado em SPD consolidado pelo menos à 12 anos, basicamente na sucessão trigo/soja e eventualmente milho. Antes da instalação do experimento o solo foi amostrado em pontos aleatórios dentro da área de alocação do experimento, com coleta em cinco

camadas do perfil até a profundidade de 0,40 m e os resultados da análise química estão apresentados na tabela 1.

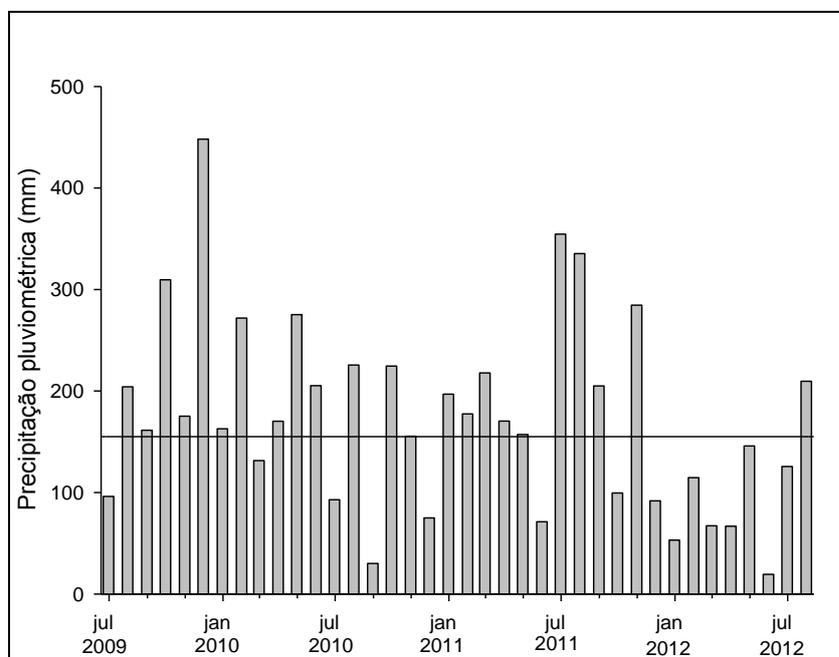


Figura 1 – Precipitação pluviométrica acumulada mensal durante o período do experimento. Dados de precipitação obtidos da estação meteorológica automática do INMET em Frederico Westphalen, RS, 2014.

*Linha horizontal representa a média mensal histórica.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições no esquema de parcelas sub-subdivididas, em que as parcelas principais (5 x 60 m) constituíram das camadas de solo no perfil (0-0,025; 0,025-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m), as subparcelas (5 x 20 m) por intervenções mecânicas de solo (SPD contínuo; SPD/aração+gradagem/SPD e SPD/escarificação/SPD) e nas sub-subparcelas (5 x 5 m) doses de gesso (0; 2; 4 e 6 Mg ha⁻¹).

Com exceção do tratamento SPD contínuo, realizaram-se as intervenções mecânicas do solo antes da aplicação do gesso. As intervenções foram com arado de disco seguido de duas gradagens pesadas para o tratamento SPD/aração+gradagem/SPD e, com escarificador seguida de uma gradagem para o tratamento SPD/escarificação/SPD, sendo a profundidade de trabalho do escarificador de 0,30 m. Concomitante a esta operação foi aplicado em área total 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, o qual foi aplicado todo em

superfície para o tratamento SPD contínuo, já para os demais, $\frac{1}{2}$ da dose foi aplicada antes da intervenção com arado ou escarificador e $\frac{1}{2}$ antes da última gradagem.

Tabela 1 – Caracterização das camadas de solo até 0,40 m de profundidade antes da implantação do experimento, Frederico Westphalen – RS, 2014.

Camadas m	Argila	MO. ⁽¹⁾	pH ⁽²⁾	Al ⁽³⁾	Ca ⁽³⁾	Mg ⁽³⁾	CTC _{pH7}	S ⁽⁴⁾	P ⁽⁵⁾	K ⁽⁵⁾
	-----%-----	---	---	-----Cmol _c dm ⁻³ -----			-----mg dm ⁻³ -----	---	---	
0,00 a 0,025	60,3	3,5	6,2	0,0	5,8	3,5	12,7	12,3	12,8	275,8
0,025 a 0,05	73,0	2,9	5,7	0,0	4,6	2,6	11,3	10,5	14,2	218,5
0,05 a 0,10	73,3	2,5	5,6	0,0	3,7	1,8	9,6	11,2	10,3	103,5
0,00 a 0,10 ⁽⁶⁾	70,0	2,8	5,8	0,0	4,4	2,4	10,8	11,3	11,9	175,3
0,10 a 0,20	78,3	2,3	5,6	0,0	3,7	1,7	9,3	10,7	5,2	54,0
0,20 a 0,40	75,3	1,9	5,4	0,2	2,3	1,3	7,7	10,5	4,3	69,0
média ⁽⁶⁾	74,7	2,2	5,5	0,1	3,2	1,7	8,9	10,7	6,4	91,8

⁽¹⁾Matéria Orgânica; ⁽²⁾pH em água 1:1; ⁽³⁾Extraído com solução de KCl 1 mol; ⁽⁴⁾ Extraído em [Ca(H₂PO₄)₂]; ⁽⁵⁾Mehlich-1; ⁽⁶⁾Média ponderada.

Após realizada as operações de intervenções mecânicas no solo foi semeado aveia branca para cobertura do solo e após sua emergência aplicou-se o gesso a lanço em superfície, na dosagem correspondente a cada tratamento, conforme a figura 2.

Pelo período de 36 meses da instalação do experimento (Jul-2009 a Jul-2012) foram realizados os cultivos da sucessão aveia branca/Soja/aveia preta/milho/trigo/soja. A aveia branca e aveia preta foram cultivadas com propósito de produção de palhada para cobertura do solo, as quais foram manejadas em pleno florescimento. Já as culturas de trigo, soja e milho foram cultivados com propósito de colheita de grãos. A soja, nos seus dois cultivos, foi fertilizada na linha de plantio com 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via superfosfato simples, e a lanço com 60 kg ha⁻¹ de K₂O via cloreto de potássio. Não foi realizado inoculação de sementes para fixação biológica de nitrogênio. Já para o milho utilizou-se fertilização de base na dose de 350 kg ha⁻¹ da formulação comercial 09-25-15 na primeira safra e, 400 kg ha⁻¹ da

formulação comercial 10-20-10 na segunda safra. A fertilização nitrogenada de cobertura consistiu na dose de 175 e 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio, respectivamente, para cada safra, como fonte a ureia.

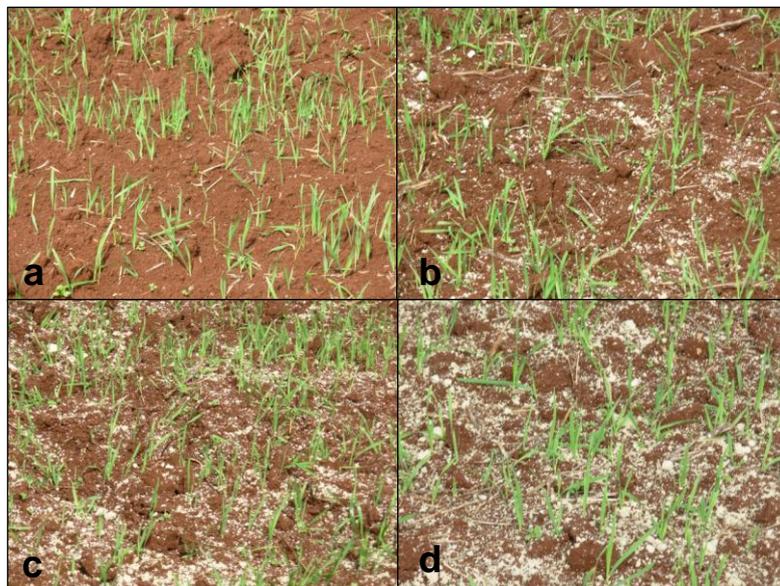


Figura 2 – Gesso na superfície do solo no estabelecimento vegetativo da aveia branca logo após a aplicação de cada dose: 0 Mg ha⁻¹ (a) 2 Mg ha⁻¹ (b) 4 Mg ha⁻¹ (c) e 6 Mg ha⁻¹ (d), Frederico Westphalen – RS, 2014.

A amostragem de solo para a análise química de cada camada do perfil foi realizada quando completados 36 meses da aplicação do gesso (Jul-2012), após pousio de três meses da colheita da última safra de soja. Com o auxílio de um trado de rosca, com diâmetro de 0,30 m, acoplado a um trator, procedeu-se com a abertura de trincheiras no centro de cada sub-subparcela, em seguida, com uma pá de corte as mesmas foram ajustadas de forma retangular nas dimensões de 0,4x0,6 m tendo o perfil preparado para a coleta manual do solo em cada camada. O solo coletado foi acondicionado em embalagens plásticas com a respectiva identificação e encaminhado para o laboratório de análise de solos, conforme a figura 3.

As amostras de solo foram encaminhadas ao laboratório de solos da UFSM *Campus* Frederico Westphalen para a determinação dos teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e S-SO₄²⁺. Inicialmente as amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçado a temperatura de 45° C. até peso constante, posteriormente foram passadas



Figura 3 – Abertura das trincheiras com trado de rosca (a) para coleta manual de solo (b; c) em camadas do perfil (e) de cada sub-subparcela, Jaboticaba – RS, 2014.

em moinho de martelo com peneira de 2 mm de diâmetro para obtenção da TFSA, estando prontas para a extração dos referidos nutrientes. Os nutrientes Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos com solução de KCl na concentração de 1 mol L^{-1} e as leituras realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica. O K^{+} foi extraído pela metodologia Mehlich-1 com a leitura em fotômetro de chamas, já o S-SO_4^{2+} foi lido por turbidimetria após extração com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e precipitado com BaCl_2 , todos conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e quando as interações foram significativas realizou-se o desmembramento dos efeitos de tratamento de um fator dentro de cada nível de outro fator. Para os tratamentos qualitativos procedeu-se com a comparação de médias com o teste de Tukey ($p < 0,05$) e para os tratamentos de doses de gesso com o ajuste de regressão polinomial, utilizando do programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

2.5 Resultados e Discussão

Para todos os nutrientes avaliados a análise da variância não revelou interação tripla entre os fatores profundidade, gesso e intervenção, nem interação

entre gesso e intervenção. No entanto, houve interações entre gesso e profundidade e, para o Ca^{2+} , ainda, entre intervenção e profundidade (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise da variância com valores da probabilidade do teste F, nas interações de profundidade, gesso e intervenções mecânicas do solo, para as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e S-SO_4^{2-} , após 36 meses da aplicação dos tratamentos, Frederico Westphalen, RS, 2014.

Fonte de Variação	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	S-SO_4^{2-}
Profundidade (Prof.)	<0,0001*	0,0019*	<0,0001*	<0,0001*
$\text{CV}_{\text{parcela}}$ (%)	13,84	47,64	49,61	29,88
Intervenção	0,0514	0,0998	0,0770	0,4742
Intervenção x Prof.	<0,0001*	0,5539	0,4783	0,2244
$\text{CV}_{\text{subparcela}}$ (%)	12,52	25,89	27,05	27,20
Gesso	<0,0001*	<0,0001*	0,0073*	<0,0004*
Gesso x Prof.	0,0296*	0,0032*	0,0124*	0,0144*
Gesso x Intervenção	0,0535	0,1050	0,0590	0,1980
Gesso x Prof. x Intervenção	0,2967	0,9953	0,1262	0,9006
$\text{CV}_{\text{sub-subparcela}}$ (%)	10,41	16,46	27,58	21,81

*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Esses resultados interativos revelam o efeito do gesso em profundidade, sobre os teores dos nutrientes, independentemente da realização de alguma intervenção mecânica no solo antes da sua aplicação em superfície. Esta resposta esta relacionada à falta de interferência da estrutura física ou do gradiente de fertilidade, mesmo quando foram alterados pelo revolvimento. Já para o Ca^{2+} , o efeito tanto da interação entre intervenção e profundidade, gesso e profundidade, nos fazem inferir, que tanto uma intervenção mecânica quanto aplicações de gesso em superfície alteram o teor deste cátion no perfil do solo.

2.5.1 Teores de Ca^{2+} no perfil do solo

Os teores de Ca^{2+} no solo que representam o gradiente no perfil até 0,10m de profundidade, antes da implantação do experimento, foram na ordem de 5,8; 4,6 e 3,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, para cada camada (0-0,025; 0,025-0,05 e 0,05-0,10 m) (Tabela 1). Observa-se que 36 meses após a implantação do experimento tal gradiente ainda permanece para o tratamento que não recebeu intervenção mecânica (SPD contínuo), embora a magnitude dos teores do nutriente nas camadas de 0,025-0,05 e 0,05-0,10m tenham aumentado para 5,2 e 4,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente (Figura 4).

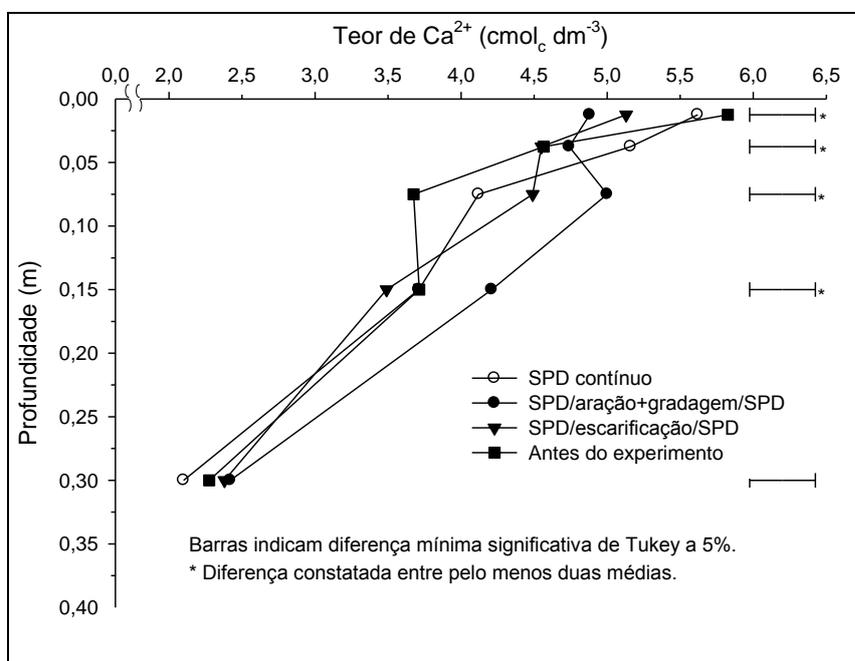


Figura 4 – Teores de Ca^{2+} no perfil do solo, antes e após as intervenções mecânicas do solo. Média das doses de gesso. Frederico Westphalen, RS, 2014.

Observa-se que o efeito da intervenção de solo com arado foi eficiente até a profundidade de 0,20 m (camada arável), pois em relação ao tratamento SPD contínuo, diminuiu a concentração deste cátion em 12,5 e 9,6%, respectivamente, nas camadas de 0-0,025 e 0,025-0,05m, justificando parte do incremento de 21,95 e 13,5%, respectivamente, nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m (Figura 4). Já com a utilização do escarificador, se observa um efeito significativo no gradiente de concentração de Ca^{2+} apenas até a profundidade de 0,10 m. Esse resultado já era

de se esperar uma vez que o arado proporciona a inversão do solo, e o escarificador apenas mexe o solo com a passagem das hastes em profundidade.

A concentração de Ca^{2+} no perfil do solo para os tratamentos com aplicação de doses de gesso, de maneira geral ficaram acima do tratamento sem aplicação (dose zero), preservando o gradiente descendente (Figura 5).

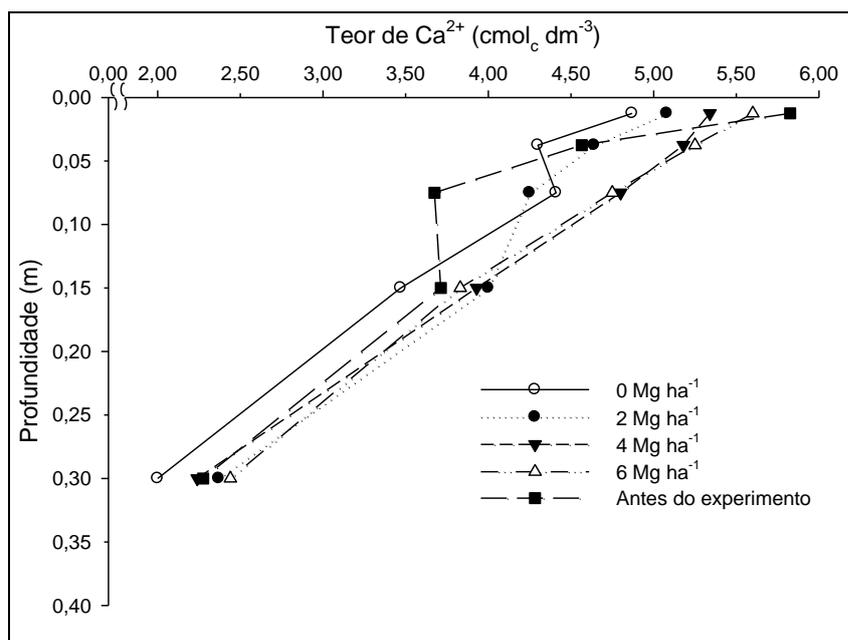


Figura 5 – Teores de Ca^{2+} no perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em superfície do solo. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

As doses de gesso na superfície do solo incrementaram linearmente Ca^{2+} nas três primeiras camadas de solo (até 0,10 m), conforme revelam as regressões lineares de primeiro grau (Figura 6). Esses incrementos foram de 15, 22 e 7,9%, respectivamente para as camadas de 0,0-0,025, 0,025-0,05 e 0,05-0,10 m, com a dose de 6 Mg ha⁻¹, em relação a dose zero de gesso. Maschietto (2009) também em um Latossolo Vermelho distrófico de textura muito argilosa (70%) encontrou incremento linear de Ca^{2+} com doses de gesso de até 12 Mg ha⁻¹ para todas as camadas do perfil por ele analisadas, no entanto, com maior incremento também até os 0,10 m de profundidade, com apenas nove meses da aplicação e, na camada de 0,40-0,60 m após 30 meses. O mesmo efeito linear, de primeiro grau e com apenas

seis meses da aplicação do gesso, foi encontrado por Rampim et al. (2011) aplicando até 5 Mg ha^{-1} em superfície de Latossolo Vermelho eutrófico também de textura muito argilosa, em que o deslocamento do Ca^{2+} foi observado até a última camada avaliada (0,20-0,40 m).

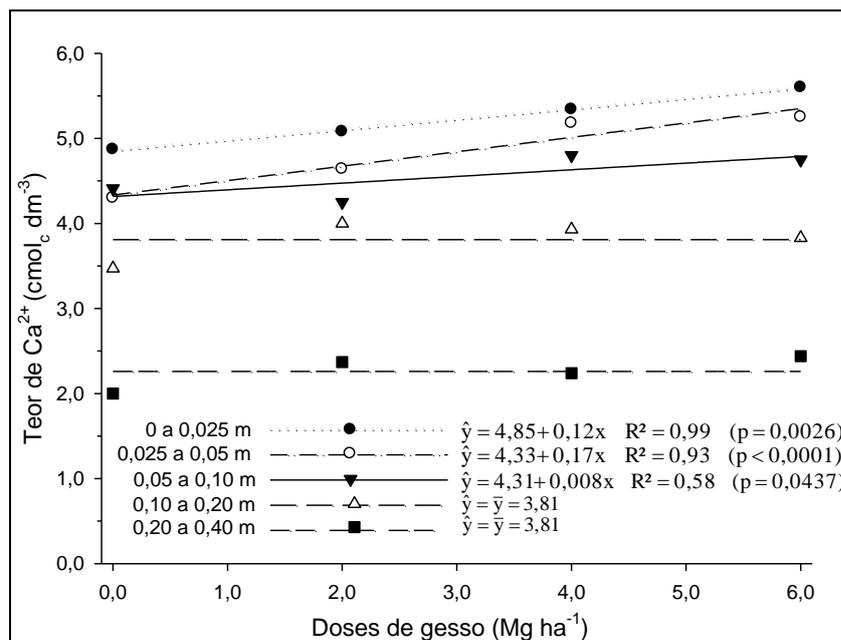


Figura 6 – Teores de Ca^{2+} para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

Testando calcário e gesso em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (58%), Caires et al. (2003) observaram aumento pronunciado de Ca^{2+} no perfil do solo aos já oito meses após aplicação, ficando nítida a movimentação de Ca^{2+} com aplicação de 9 Mg ha^{-1} de gesso, avaliada 32 meses da aplicação. Ramos et al. (2013) encontraram aumento nos teores de Ca^{2+} até a profundidade de 0,40 m com o uso tanto de 7 quanto de 56 Mg ha^{-1} de gesso na linha de plantio de café, após 16 meses da aplicação também em Latossolo Vermelho distrófico, com presença de horizonte Bw de 81,9% de argila. É interessante destacar que os autores, com exceção do primeiro, realizaram calagem concomitante a aplicação do gesso, o que pode explicar, em parte, respostas no menor tempo e em maior profundidade, em relação o encontrado neste trabalho.

A gessagem quando realizada após calagem tem o seu efeito aumentado pela maior disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo e formação do par iônico de um cátion com o sulfato (S-SO_4^{2-}) (MARKET et al. 1987), responsável pela maior mobilidade ao íon S-SO_4^{2-} (SOBRAL et al., 2009; RAMPIM et al., 2011; SERAFIM et al., 2012). A baixa mobilidade do Ca^{2+} observada neste trabalho pode estar relacionada, além do efeito negativo da falta de calagem, à complexação do cátion ao carbono orgânico disponível (ZAMBROZI et al., 2007) e a maior atração deste cátion nos colóides do solo, quando comparado com o Mg^{2+} e o K^+ (RAMOS et al., 2013). Em outra situação, e trabalhando com coluna de lixiviação em casa de vegetação, Serafim et al. (2012), observaram um incremento de Ca^{2+} no perfil do solo atingindo até 0,40 m de profundidade em apenas dois meses da aplicação do gesso, mesmo em solo com alto teor de argila (74%). Os autores avaliaram a influência do PCZ do solo e observaram que, em função do tipo de solo em que montaram a sobreposição de horizontes com colunas, as doses de gesso aumentaram linearmente o PCZ do solo que compusera a camada da coluna superior de lixiviação (0-0,20 m; Hz A com calagem) e diminuiu linearmente o PCZ do solo na camada da coluna inferior (0,20-0,40 m; Hz Bw sem calagem), justificando a rápida e intensa descida de Ca^{2+} no perfil.

2.5.2 Teores de Mg^{2+} no perfil do solo

Em relação o tratamento sem aplicação de gesso (dose zero) o Mg^{2+} apresentou redução dos teores com as doses de 2 e 4 Mg ha^{-1} de gesso até os 0,10m de profundidade e, em todas as camadas para a dose de 6 Mg ha^{-1} (Figura 7). A redução constatada para o tratamento dose zero em relação à concentração antes do experimento, nas duas camadas superficiais (0-0,025 e 0,025-0,05m), seguido de um aumento na terceira camada (0,05-0,10 m), pode se justificar pela exportação de grãos dos cultivos e, movimentação vertical, explicado pela formação de complexos orgânicos hidrossolúveis a partir de ácidos orgânicos liberados dos restos vegetais presentes na superfície do solo (MIYAZAWA et al., 2002), já que no período não se fez reposição deste nutriente quer via fertilização ou calagem. Além disso, tem o efeito de diluição pelo revolvimento do solo, visto que os valores foram estimados

pela média dos três níveis de intervenção de solo, em função da não interação deste fator com os demais (Tabela 2).

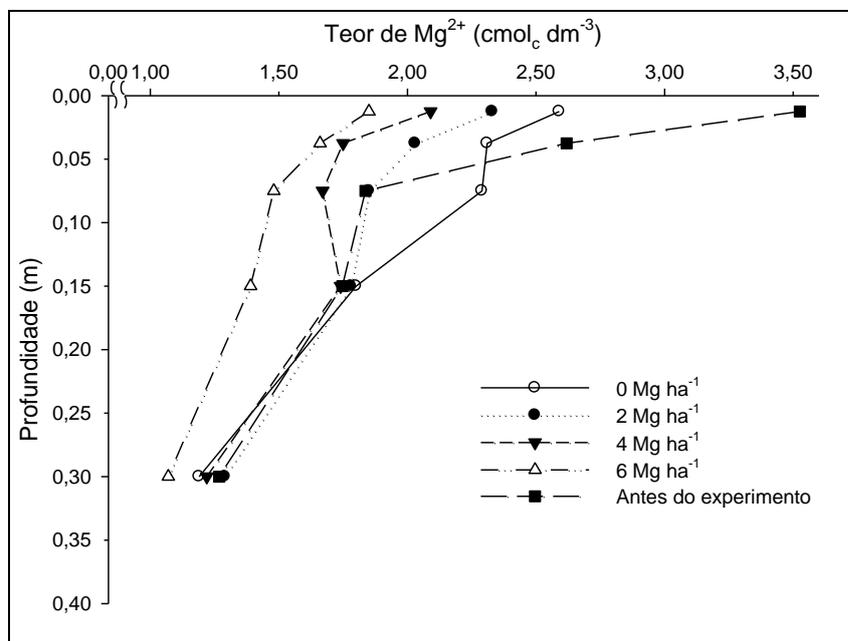


Figura 7 – Teores de Mg²⁺ no perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em superfície do solo. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

As regressões lineares de primeiro grau com alta significância ($p < 0,0001$) mostram a eficiência do gesso em reduzir os teores de Mg²⁺ das primeiras três camadas do perfil do solo (0-0,025; 0,025-0,05 e 0,05-0,10m) (Figura 8). A redução com a dose de 6 Mg ha⁻¹ em relação a dose zero de gesso, foram na ordem de 28,6; 28,1; 35,4 e 22,8%, respectivamente, para cada camada a partir da superfície. Essa redução dos teores de Mg²⁺ nas camadas superficiais do solo proporcionada pelo gesso é bastante comum, também encontrado por Silva et al. (1997), Caires et al. (1998, 1999, 2003, 2004, 2006), Soratto e Crusciol (2008a), Maschietto (2009), Rampim et al. (2011), Serafim et al. (2012) e Ramos et al. (2013), no entanto, as camadas superficiais avaliadas pelos referidos autores eram mais espessas às do presente estudo.

Estudando a especiação iônica da solução de um Latossolo sob SPD após aplicação de gesso, Zambrozi et al. (2007) verificaram que para o Mg²⁺, a ocorrência

da forma livre na solução do solo foi muito maior do que a sua associação com ânions orgânicos e inorgânicos e, o ânion inorgânico que mais se ligou ao Mg^{2+} foi o SO_4^{2-} , o que ajuda a explicar por que a aplicação de gesso pode favorecer a redução dos teores deste elemento nas camadas superficiais do solo. Essa maior afinidade do Mg^{2+} , comparado ao Ca^{2+} e K^+ , na formação do par iônico com o íon SO_4^{2-} é explicada pela densidade de carga, dada pela relação carga atômica ($2+$; $2+$ e $1+$) com o raio iônico de Pauling (0,99; 0,65 e 1,33 Å), resultando na relação 2,02; 3,07 e 0,75, respectivamente, para Ca, Mg e K (MAHAN, 2003). Quanto maior a densidade de carga (relação carga/raio), mais intensa será a ligação iônica do cátion com íons de cargas opostas como OH^- , SO_4^{2-} , sendo, portanto, a facilidade de formação de sulfatos com carga nula no solo na seguinte ordem: $MgSO_4^0 > CaSO_4^0 > K_2SO_4^0$ (RAMOS et al., 2013).

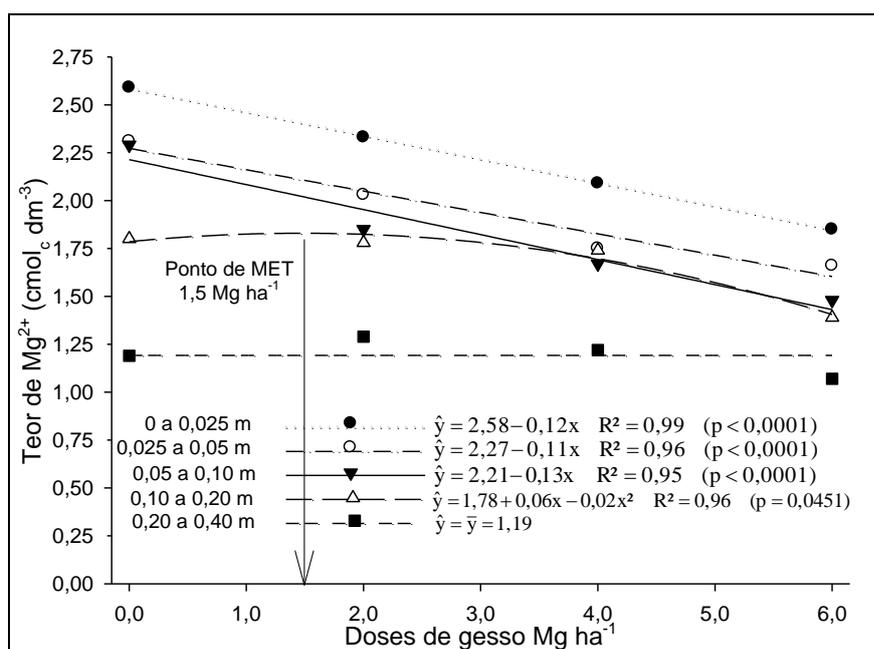


Figura 8 – Teores de Mg^{2+} para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

Aplicando calcário e gesso em superfície de um Latossolo Vermelho distroférico de SPD recém implantado, Soratto e Crusciol (2008a) observaram que as 12 meses da aplicação o gesso reduziu os teores de Mg^{2+} na camada superficial

do solo principalmente quando da ausência de calagem, no entanto, constataram que o gesso promoveu aumento de Mg^{2+} na camada de 0,10-0,20 m, porém com 18 meses houve diminuição em todo o perfil estudado (0-0,60 m). Nos trabalhos de Caires et al. (1998, 1999, 2003, 2004, 2006) os autores verificaram continuação no deslocamento de Mg^{2+} no perfil do solo após 36 meses da aplicação do gesso concomitante com calagem, inclusive em profundidades maiores (0,40-0,60 m), sendo mais intensa quanto maior os teores nas camadas superiores do solo. Os pesquisadores alertam da importância de se usar o calcário dolomítico em doses parceladas em superfície quando se aplica elevadas doses de gesso, assim, não compromete em demasiada redução de Mg^{2+} nas camadas superiores do solo e garante uniformidade de distribuição do nutriente no perfil.

Não usando calcário, Maschietto (2009) observou que o gesso reduziu o Mg^{2+} da camada de 0-0,10 m aos nove meses após a aplicação, sendo essa redução também observada na camada de 0,10-0,20 m aos 30 meses após aplicação. Concomitante a isso, o autor observou um aumento nos teores de Mg^{2+} na camada de 0,40-0,60 18 meses após aplicação do gesso, não sendo observados maiores incrementos, nessa última camada, na avaliação feita aos 30 meses da aplicação.

Nas condições deste estudo, constata-se que a aplicação de até $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso em superfície proporciona um leve incremento dos teores de Mg^{2+} na camada de 0,10-0,20 m, conforme explicado pelo ponto de máxima da curva que representa a camada ($p=0,0451$) (Figura 8). A significância próxima a 5% e a ausência de significância dos modelos matemáticos que representam, respectivamente, as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40m, em relação aos modelos das demais camadas, podem estar atrelado a maior espessura dessas camadas em relação às camadas mais superficiais, que podem ter causado um efeito de diluição nos teores de Mg^{2+} , do incipiente deslocamento deste elemento das camadas superficiais, limitado à camada de 0,10-0,20m.

Embora houvesse redução nos teores de Mg^{2+} das camadas superiores (até 0,10 m) com o aumento das doses de gesso, os teores ainda permaneceram na faixa de classificação “alto” (CQFS-RS/SC, 2004). Essa redução associada ao incremento linear de Ca^{2+} , nestas mesmas camadas, foram responsáveis pelo aumento linear da relação Ca^{2+}/Mg^{2+} (Figura 9), corroborando com Maschietto (2009), em que o autor encontrou relação próximo a seis na camada de 0-0,10 m após 30 meses da aplicação de 12 Mg ha^{-1} de gesso em superfície do solo. No

entanto, apesar de neste trabalho o gesso não ter sido eficiente em diminuir o gradiente de Ca^{2+} no perfil do solo até 0,10 m de profundidade, o uso de 6 Mg ha^{-1} de gesso em superfície elevou a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, média dessas camadas, de 1,9 para 3,1, considerado ideal para a cultura da soja (SALVADOR et al., 2011). Trabalhando com aplicação de corretivos que proporcionaram elevação da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ no solo, Medeiros et al. (2008) encontraram diminuição da absorção de Mg^{2+} e K^+ , diminuição na produção de matéria seca e estatura de plantas pelo milho, principalmente quando os valores foram superiores a 4,0. Já, Oliveira e Parra (2008) não encontraram respostas do feijoeiro às variações da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ para o estabelecimento de um valor ideal a esta cultura.

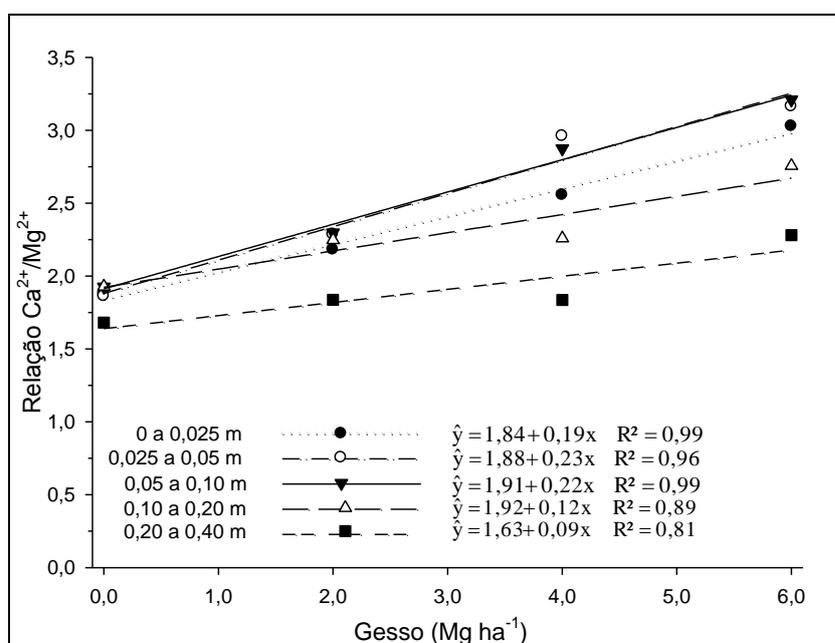


Figura 9 – Relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície. Frederico Westphalen, RS, 2014.

2.5.3 Teores de K^+ no perfil do solo

A distribuição da concentração de K^+ no perfil do solo antes da instalação do experimento mostrava-se com gradiente vertical bastante acentuado da superfície até a profundidade de 0,20 m (Figura 10). Após 36 meses da aplicação dos

tratamentos, se observa que, independente da dose de gesso aplicada, houve razoável diminuição das concentrações nas camadas mais superficiais do solo (0-0,025 m e 0,025-0,05 m), sendo essa, respectivamente de 41,4 e 19,9% para a dose zero de gesso em relação aos teores no solo antes do experimento. A justificativa para isso, talvez seja no efeito do revolvimento do solo nas intervenções mecânicas, já que os valores que representam cada dose de gesso em cada profundidade são a média dos três níveis de intervenção, em função da falta de interação entre fatores. Observa-se ainda que as maiores concentrações de K^+ , para todos os tratamentos após 36 meses da instalação do experimento, situam-se na camada logo abaixo da superficial (0,025-0,05 m). Esse resultado talvez seja porque na camada superficial possui maiores quantidades de resíduos vegetais em decomposição, que misturados ao solo proporcionam leve diluição dos teores, uma vez que estes resíduos liberaram o K^+ rapidamente (GIACOMINI et al., 2003; CHAGAS et al., 2007; LEITE et al., 2010) chegando na proporção de 75% em até 30 dias após a colheita da maioria das culturas (SCHLINDWEIN et al., 2013), e pela elevada mobilidade deste nutriente no solo, para as camadas logo abaixo, como a de 0,025-0,05.

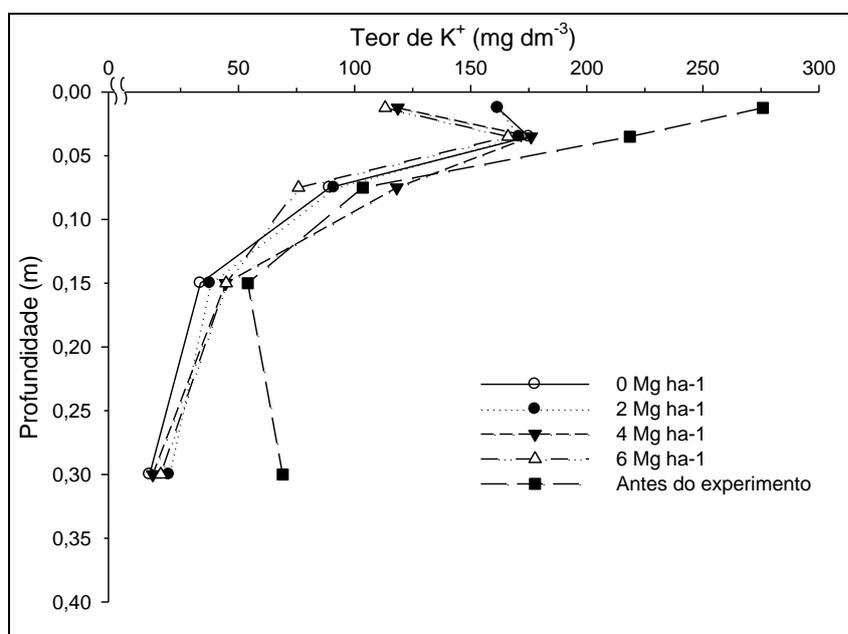


Figura 10 – Teores de K^+ no perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em superfície do solo, Jaboticaba, RS, 2014.

A camada superficial do solo foi a que contribuiu com a maior perda linear de K^+ para as camadas inferiores do perfil em função do incremento de doses de gesso em superfície, representada pela regressão linear de primeiro grau negativa ($p < 0,0001$) (Figura 11). Essa maior contribuição se justifica por ser a camada que está em íntimo contato com os resíduos vegetais da superfície do solo provenientes das culturas, sendo a porta de entrada do K^+ liberado desses resíduos e, conseqüentemente, de saída para as camadas inferiores do perfil. O modelo sugere que para cada $Mg\ ha^{-1}$ de gesso aplicados em superfície, este, reduz $9,42\ mg\ dm^{-3}$ de K^+ da camada superficial, equivalente a 5,64%, que pode chegar a 33,8% com o uso de $6\ Mg\ ha^{-1}$.

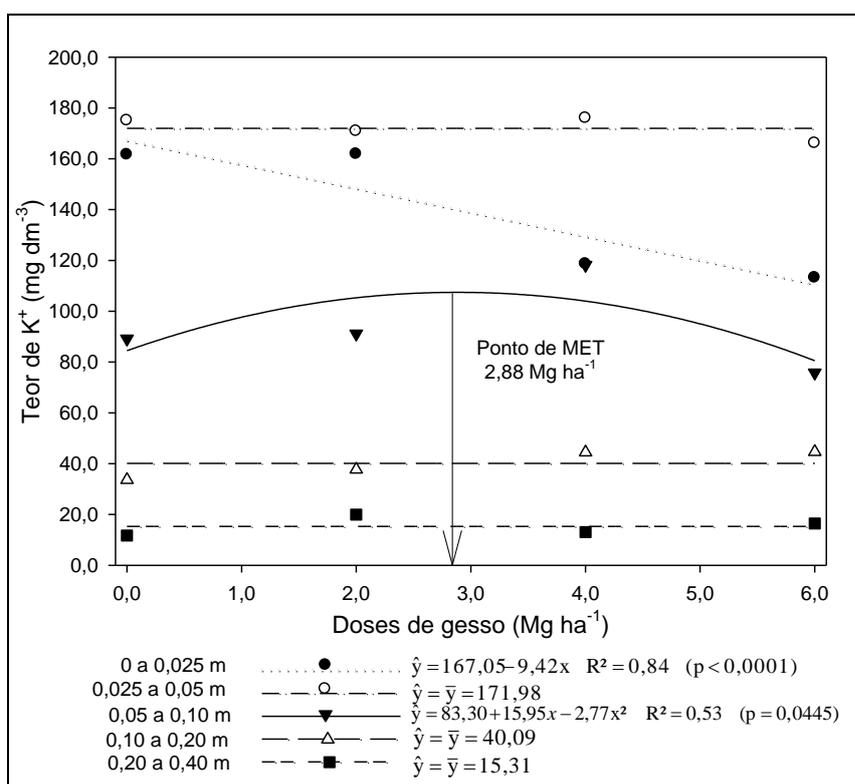


Figura 11 – Teores de K^+ para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

O K^+ que se deslocou verticalmente se acumulou na camada de 0,05-0,10 m, mas apenas para o tratamento de $2\ Mg\ ha^{-1}$ de gesso, pois a dose que representa o

ponto de máxima ($2,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) sugerido pelo modelo matemático ($p=0,0445$), da referida camada de solo, revela um incremento de 27,56% em relação o ponto de dose zero. As doses de 4 e 6 Mg ha^{-1} de gesso provocaram o deslocamento do cátion para camadas inferiores a esta, com ausência de incrementos nas camadas inferiores avaliadas (0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m). Essas ausências de incrementos nas camadas inferiores podem estar associadas a um efeito de diluição dos teores em função da maior espessura dessas camadas, o que não permite afirmar que o K^+ tenha se deslocado além dessas camadas. Além disso, essa descida do K^+ no perfil do solo é gradativa e ocorre, mesmo sem efeito do gesso, porque é um elemento extremamente móvel (ERNANI et al. 2007) devido a sua baixa densidade de carga (RAMOS et al., 2013), que pode ocorrer mesmo em solo argiloso de elevada CTC, quando as concentrações no solo são altas (WERLE et al., 2008). Provavelmente esse pequeno deslocamento encontrado neste trabalho, tenha sido mais em função do aumento dos teores de Ca^{2+} nas camadas superficiais que passaram a ocupar as cargas negativas do solo, deslocando o K^+ , do que a ação do par iônico K_2SO_4^0 .

Dos elementos avaliados, o K^+ é o elemento mais difícil de formação do par iônico com o íon SO_4^{2-} na solução do solo devido a menor densidade de carga, conforme explicado anteriormente, motivo também pelo qual sua descida no perfil foi menos pronunciada pela aplicação de gesso em superfície, e por isso sem ocorrência em alguns trabalhos (CAIRES et al., 1998, 1999, 2003, 2004; ZAMBROZI et al., 2007; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; SERAFIM et al. 2012). Já no trabalho de Maschietto (2009) as doses de gesso reduziram os teores de K^+ no solo na camada de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, após nove, dezoito e trinta meses da aplicação do gesso, respectivamente. Para o autor a elevada lixiviação é atribuída ao alto teor do nutriente e baixa acidez no perfil do solo.

2.5.4 Teores de enxofre (S-SO_4^{2-}) no perfil do solo

Diferentemente dos demais nutrientes, não se constatou problemas de gradiente vertical de S-SO_4^{2-} no solo antes da implantação do experimento, inclusive os teores, em todas as profundidades, estavam acima de 10 mg dm^{-3} , considerado suficiente ao desenvolvimento das culturas (CQFS-RS/SC, 2004) (Figura 12).

Observa-se uma distribuição uniforme no perfil, com valor mais elevado na camada mais superficial do solo (0-0,025 m) que se mantem mesmo após a aplicação de gesso, consequência do maior teor de matéria orgânica em superfície (Tabela 1), maior contribuidora de $S-SO_4^{2-}$ ao solo.

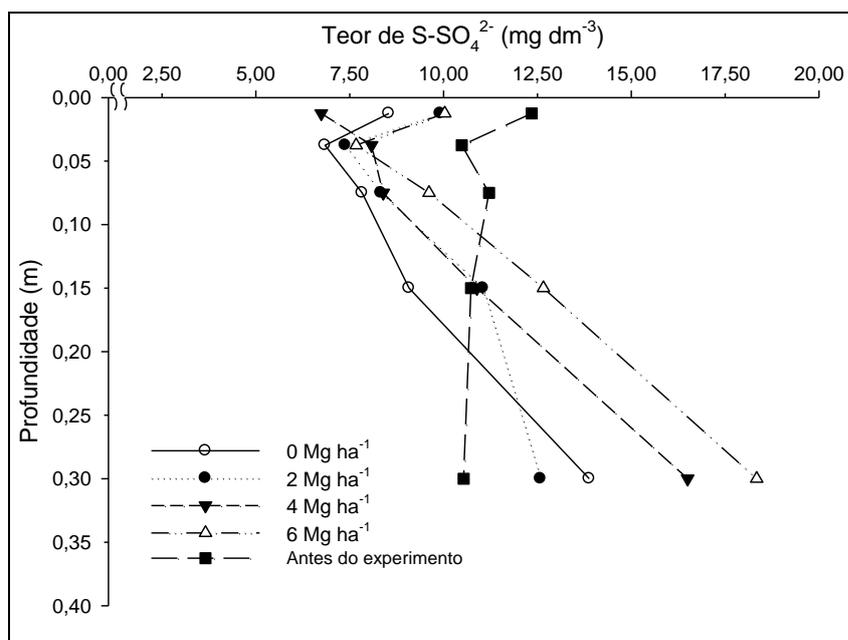


Figura 12 – Teores de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em aplicadas superfície do solo. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

Ao analisar os pontos que representam as doses de gesso se observa uma diminuição dos teores de $S-SO_4^{2-}$ nas camadas superficiais (até 0,10 m) para teores abaixo de 10 $mg\ dm^{-3}$ (Figura 12), valor que pode comprometer o ótimo desenvolvimento de culturas do grupo das leguminosas, liliáceas e brássicas (CQFS-RS/SC, 2004) e, limitar a obtenção de altos tetos de produtividade do milho (FANCELLI, 2010). Essa redução pode estar atrelada aos efeitos de aplicação de alta dose de fósforo ($400\ kg\ ha^{-1}$) em toda a área experimental por ocasião da instalação do experimento, pois o efeito também foi pronunciado no tratamento que não recebeu gesso (dose zero).

Quanto à aplicação e os efeitos do P em superfície, este, pela maior afinidade e quantidade, se liga aos sítios de reações dos argilominerais liberando o $S-SO_4^{2-}$ ali

adsorvido para a solução do solo, que fica propenso a lixiviação e ligação com cátions na formação dos pares iônicos de carga nula, altamente móveis no perfil (ALVAREZ, 2004; OSÓRIO-FILHO, 2006). Apesar de não ter sido o foco do trabalho, o incremento da concentração de P na camada superficial (0-0,025 m) proveniente da aplicação do superfosfato triplo, passou de 12,75 mg dm⁻³, de antes do experimento, para 26,19 mg dm⁻³ (105,41%) no tratamento SPD contínuo, após os 36 meses da aplicação deste em superfície (Apêndice A). Em lavouras manejadas com agricultura de precisão é muito comum a aplicação superficial em taxa variada deste fertilizante, onde Santi et al. (2012) elevaram os teores médios de P da camada de 0-0,10 m, de 8,2 para 17,2 mg dm⁻³ em dois anos, um incremento de 109,76% e 33% acima da meta estipulada pelos autores (13 mg dm⁻³), que provavelmente os incrementos foram superiores a estes na camada de 0-0,025 m.

Ao analisar a influencia das doses de gesso na mobilidade do S-SO₄²⁻ nas diferentes camadas do perfil do solo (Figura 13), se observa que o gesso não alterou significativamente os teores de S-SO₄²⁻ das três camadas superficiais do solo (0-0,10 m), explicado pela falta de significância das regressões lineares que representam essas camadas, semelhante ao encontrado por Caires et al. (1998, 2006) e Serafim et al. (2012). Já Maschietto (2009) e Rampim et al. (2011) encontraram aumento linear de S-SO₄²⁻ em função das doses de gesso em todas as camadas do perfil de solo por eles estudadas.

Testando calcário e gesso no aprofundamento radicular de laranjeiras em um solo com presença de horizonte coeso, Sobral et al. (2009) observaram o aumento de S-SO₄²⁻ em todo o perfil, inclusive com descida para o horizonte compactado, até os 0,4 m, favorecendo o comprimento radicular das plantas. Essa divergência de resultados na concentração de S-SO₄²⁻ nas camadas mais superficiais do solo pode estar atrelada ao tipo de solo, a mineralogia, ao clima, ao manejo e as condições físicas químicas do mesmo.

No presente trabalho, a aplicação de alta dose de fósforo na camada arável pode ter sido o fator que contribuiu para a maior mobilidade do íon S-SO₄²⁻ em profundidade no perfil do solo (ALVAREZ, 2004; CAIRES et al., 2004; MASCHIETTO et al., 2009), e por isso não houve acúmulo nas camadas superficiais. Isso provavelmente proporcionou para que grande parte do S-SO₄²⁻ tenha se deslocado sem a formação de par iônico com os cátions estudados, visto a pequena movimentação destes no perfil do solo. A velocidade e distância de descida do S-

SO_4^{2-} no perfil varia conforme o tipo de solo e depende da intensidade das chuvas após a aplicação (CAIRES et al., 1999, 2003; QUAGGIO et al., 1993), sendo mais lenta quanto maior o teor de argila (ALVARES et al., 2004; CAIRES et al., 2004).

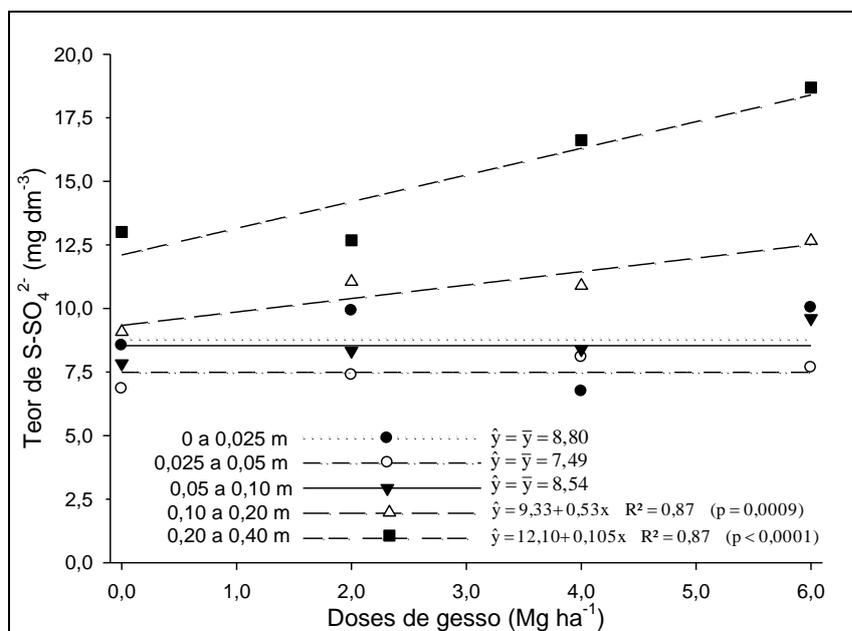


Figura 13 – Teores de S-SO_4^{2-} para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicadas em superfície do solo. Médias das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2012.

As regressões lineares de primeiro grau, com maior coeficiente angular na camada de 0,20-0,40 m (Figura 13), revelam que esta camada de subsolo possui alta capacidade de retenção de S-SO_4^{2-} , conforme constatado e afirmado por Caires et al., (2004). Conforme os referidos coeficientes angulares, os incrementos nos teores de S-SO_4^{2-} , respectivamente para as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, são de 0,53 e 1,05 mg dm^{-3} para cada Mg ha^{-1} de gesso aplicado em superfície, correspondente a 5,68 e 8,68% em relação a dose zero. Esses incrementos sobem para 34 e 52% com a dose de 6 Mg ha^{-1} de gesso. No trabalho de Caires et al. (1998), por exemplo, foram recuperados cerca de 40% do S-SO_4^{2-} aplicado pelo gesso na dose de 12 Mg ha^{-1} , até a profundidade de 0,80 m. Desse total recuperado, apenas 10% do S-SO_4^{2-} foram encontrados na camada de 0-0,20 cm de solo.

Quanto ao tempo de descida do $S-SO_4^{2-}$ proveniente da dissolução do gesso, existe muita divergência, o que depende das condições supracitadas, com relatos de dois meses (SERAFIM et al., 2012) a até 16 anos após a aplicação (TOMA et al., 1999), no entanto, trabalhos como os de Caires et al. (2003) revelam as maiores lixiviações com o mesmo tempo deste trabalho (36 meses), já em outros com 64 meses (CAIRES et al., 2001) e 43 meses (CAIRES et al., 2004). No entanto, Quaggio et al. (1993) testando as mesmas doses de gesso que este trabalho, combinadas com calcário, em um Latossolo Vermelho escuro, concluíram que em apenas 18 meses todo o gesso havia reagido no solo e liberado $S-SO_4^{2-}$ e Ca^{2+} inclusive à profundidades abaixo de 0,60 m.

2.6 Conclusão

Nas condições de realização do estudo é possível concluir que:

As intervenções mecânicas do solo não influenciam a ação do gesso agrícola sobre o gradiente de cátions no perfil, quando aplicado em superfície após as operações.

O gradiente de Ca^{2+} no solo sob SPD é amenizado com intervenção de aração+gradagem até a profundidade de 0,10 m e, o gesso aumenta os teores no solo até esta mesma profundidade.

O uso do gesso agrícola aplicado em superfície do solo tem pouco potencial de mobilizar verticalmente Mg^{2+} e K^+ no perfil do solo, visto que o deslocamento é limitado aos 0,10 m de profundidade.

2.7 Referências Bibliográficas

ALVAREZ, J. W R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J. et al. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.4, p.370-379, 2006.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J. et al. 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**, Viçosa, v.23, n.2, p.315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; CHUERI, W. A.; MADRUGA, E. F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.1029-1040, 2001.

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

CHAGAS, E.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.723-729, 2007.

CIOTTA, M. N., BAYER, C.; ERNANI, P. R. et al. Acidificação de um Latossolo Sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.1055-1064, 2002.

COLLARES, G. L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.933-942, 2008.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

CREMON, C.; ROSA-JÚNIOR, E. J.; SERAFIM, M. E. et al. Análise micromorfológica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.1, p.1399-146, 2009.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa: Editora UFV. v.1. 382 p. 2006.

DELLA-FLORA, L. P.; ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C. Mobilidade de cátions e correção da acidez de um Cambissolo em função da aplicação superficial de calcário combinado com sais de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1591-1598, 2007.

DENARDIN, J. E. Sistema Plantio Direto não é Empregado Corretamente. **Diário da manhã**. Passo Fundo, 2012. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br>>. Acesso em 13 mai 2012.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. **Vertical mulching: prática conservacionista mitigadora de perdas por erosão hídrica em sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008, 8p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 53).

DENARDIN, J. E.; FAGANELO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto: Problemas têm acontecido e são resultantes do descaso com a adoção plena do complexo de processos tecnológicos que compõem o sistema de plantio direto. **Revista A Lavoura**, Rio de Janeiro: SNA, v.112, n.671, p.20-22, 2009.

DIAS, L. E. **Uso do gesso como insumo agrícola**. Seropédica, Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Biologia – CNPBS, 1992. 6p. (Comunicado Técnico 7).

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1713-1722, 2011.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. de. et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p. 393-402, 2007.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1097-1104, 2003.

GOULART, A. C. P. Sistema de plantio direto: Sinônimo de Sustentabilidade. **A Lavoura**. Out. 2009.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. de C. A. de; SAGRILLO, E. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.1, p.29-35, 2010.

MACHADO, P. L. O. A. **Considerações gerais sobre a toxicidade de alumínio nas plantas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1997. 22p.

MAHAN, B.M. **Química: Um curso universitário**. 6.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2003. 581p.

MARKET, C. M.; PAVANA, M. A.; LANTMANN, A. F. Considerações sobre o uso do gesso na agricultura. Piracicaba, POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 3p. (Informações Agronômicas 40)

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. et al. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.647-654, 2002.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L. et al. Calcium: magnesium ratio in amendments of soil acidity: nutrition and initial development of corn plants in a Humic Alic Cambisol. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.9, n.4, p.799-806, 2008.

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

MORENO, J. A. 1961. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura , 42 p.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. de. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.409-416, 2010.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.3, p.475-486, 2006.

NOLLA, A; SCHLINDWEIN, J. A.; AMARAL, A. S. et al. Indicadores para a tomada de decisão de calagem em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.4, p.471-476, 2005.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio na capacidade de troca de cátions de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.859-866, 2003.

OSÓRIO-FILHO, B. D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEN, C. A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.1031-1040, 2009.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P. B. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.375-386, 1993.

RAMOS, B. Z. **Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfatos em Latossolo sob altas doses de gesso**. 2012. 96 f. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M. de. et al. 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**, Viçosa, v.37, n.4, p.1018-1026, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, J. F. et al. Atributos químico do solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1687-1698, 2011.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, v.5, p.49-134, 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.797-805, 2000.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio magnésio presentes no solo e teores foliares de macro nutrientes. **Revista Acadêmica Ciência Agrária e Ambiental**, Curitiba, v.9, n.1, p.27-32, 2011.

SANTI, A. L.; FIORIN, J. E. ; COCCO, K. L. T. et al. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.129, p. 18-25, 2012.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade Vertical de Fósforo e Potássio Disponíveis e Profundidade de Amostragem em Sistema Plantio Direto. **Ciência Rural**, v.30, n.4, p.611-617, 2000.

SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.; FIORELI-PEREIRA, E. C. et al. Phosphorus and potassium fertilization in no till Southern Brazilian soils. **Agricultural Sciences**, v.4, n.12a, p.39-49, 2013.

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

SILVA, N. M. A.; RAIJ, B.; CARVALHO, L. H. D. et al. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.2, p.389-401, 1997.

SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D.; SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in na Ultisol of the Coastal Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.836–839, 2009.

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; LOBE, I. et al. Sulphur speciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and S K-edge XANES spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v.56, n.5, p.621-634, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.675-688, 2008a.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.928-935, 2008b.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, S.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola em solos do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 19 p. (circular técnica, 32).

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 215p. (Boletim Técnico, 5).

TOMA, M.; SUMNER, M. E.; WEEKS, G. et al. Long term effects of gypsum on crop yeld and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.39, n.4, p.891-895, 1999.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2297-2305, 2008.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.1, p.110-117, 2007.

3 ARTIGO 2: RESPOSTA DA SOJA E DO MILHO A INTERVENÇÃO MECÂNICA E A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE

3.1 Resumo

O uso do gesso agrícola tem sido utilizado como melhorador das condições químicas do perfil do solo em profundidade e os resultados das culturas são contraditórios, dependendo das condições edafoclimáticas e espécies de plantas utilizadas. Já as intervenções mecânicas de solo, os resultados existentes revelam efeito físico pouco duradouro e geralmente não refletem sobre o rendimento de grãos. Neste sentido o objetivo do trabalho foi verificar as respostas do milho e da soja, quanto alguns componentes de rendimento e na produtividade de grãos, sob SPD consolidado submetido a intervenções mecânicas do solo e aplicação de doses de gesso agrícola em superfície. O experimento consistiu em doses de gesso (0; 2; 4 e 6 Mg ha⁻¹) aplicadas em superfície do solo após intervenções mecânicas (sem intervenção; aração+gradagem; escarificação). Em quatro safras foram cultivados soja e milho em esquema de rotação de culturas, sobre palhada de cereais de inverno. Os resultados mostraram que a soja e o milho não respondem a intervenções mecânicas de solo sob SPD consolidado; A soja apresenta apenas 10% (1,9 sacas) de incremento na produção de grãos com o uso de gesso e, apenas no segundo cultivo; O milho responde às doses de gesso com uma maximização na produção de grãos, na média de dois cultivos, em 178 kg Mg⁻¹ de gesso, com ponto de MET acima das doses estudadas.

Palavras-chave: *Glycine max* (L); *Zea mays*; Produtividade; Sistema Plantio Direto.

RESPONSE OF SOYBEAN AND CORN MECHANICAL INTERVENTION AND APPLICATION OF GYPSUM IN SURFACE

3.2 Abstract

The use of gypsum has been used as an improver of the chemical conditions of the soil depth profile and the results of cultures are contradictory, depending on environmental conditions and plant species used. Have the soil mechanical interventions, existing results show little lasting physical effect and generally do not reflect on the grain yield. In this sense, the goal of this study was to investigate the responses of corn and soybeans, as some yield components and grain yield, under no-tillage consolidated subjected to mechanical interventions and soil application rates of gypsum surface. The experiment consisted rates of gypsum (0, 2, 4 and 6 Mg ha⁻¹) applied to the soil surface after mechanical interventions (without intervention; plowing+disking, chiseling). In four soybean and corn crops were grown in crop rotation, mulching over winter cereal scheme. The results showed that soy and maize did not respond to mechanical interventions soil under consolidated no-tillage; The soybean has only 10% (1.9 sacks) increment in grain yield with the use of gypsum and, in the second crop; The corn responds to doses of gypsum with a maximization in grain production, the average of two crops in 178 kg Mg⁻¹ of gypsum with point MET above the doses studied.

Key words: *Glycine max* (L); *Zea mays*; productivity; no-tillage;

3.3 Introdução

Tem-se observado nos últimos anos um descumprimento dos preceitos do SPD (Sistema Plantio direto), com reflexo nas produtividades das principais culturas anuais como a soja e o milho, que segundo Denardin et al. (2008) é fruto de uma visão equivocada de SPD para simplesmente plantio direto (PD). Para Drescher et al. (2011) existe uma incipiente rotação de culturas com aporte de resíduos orgânicos aquém da demanda biológica do solo. Além disso, toda a fertilização do solo é realizada em superfície ou nos primeiros centímetros, bem como calagem excessiva tanto com relação a dose quanto em frequência de aplicação. Os autores

também alertam para o excessivo e indiscriminado tráfego de máquinas agrícolas e para algumas situações o manejo inadequado da integração lavoura-pecuária.

Tais descumprimentos dos preceitos do SPD resultam na formação de uma camada subsuperficial compactada que restringe a infiltração de água e o aprofundamento radicular (REICHERT et al. 2007; COLLARES et al., 2008; DENARDIN et al., 2009; NEIS et al., 2010) e, na concepção de alguns autores, a intervenção mecânica com escarificação se faz necessária para aliviar as repercussões negativas ao crescimento vegetal (ABREU et al., 2004; DRESCHER et al., 2011). Além dessas desordens físicas, ocorre a formação de gradiente de fertilidade, com maiores disponibilidades de nutrientes nas camadas superficiais (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; NEIS et al., 2010; DENARDIN, 2012, SANTI et al., 2012; SCHLINDWEIN et al., 2013), limitando a absorção pelas plantas, principalmente quando da ocorrência de veranicos.

As áreas de SPD apresentam inúmeras características próprias que exigem manejo diferenciado, principalmente na fertilidade. Essas características são decorrentes, principalmente do não revolvimento do solo e do acúmulo progressivo de restos culturais, da adubação sucessiva em sulcos ou a lanço, da sucessão de plantas adotada nas rotações de culturas, tanto em relação à quantidade quanto à qualidade da biomassa produzida, da dinâmica da água no solo e da condição diferenciada em relação a pragas, doenças e plantas invasoras (CREMON, et al., 2009). Isso levou pesquisadores a buscar um melhor entendimento da dinâmica dos nutrientes sob essas condições, sobretudo na mobilidade no perfil do solo como forma de disponibilizá-los eficientemente às plantas (ERNANI et al., 2007; DELLA-FLORE et al., 2007; WERLE et al., 2008).

O uso do gesso agrícola tem sido apontado como uma ferramenta usual no melhoramento químico do perfil do solo seja como carreador de cátions para as camadas subsuperficiais (QUAGGIO et al. 1993; CAIRES et al., 2003; MASCHIETTO, 2009; RAMPIM et al., 2011; SERAFIM et al., 2012; RAMOS et al., 2013), ou como alterador das formas tóxicas de alumínio em subsuperfície (CAIRES et al., 1999; SORATTO; CRUSCIOL, 2008a; RAMPIM et al., 2011), contribuindo desta forma, diretamente no crescimento radicular (CAIRES et al., 2001a,b; SOBRAL et al., 2009). Os benefícios indiretos do gesso na produção de grãos se devem em decorrência do incremento de Ca^{2+} , relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ e do S-SO_4^{2-} disponíveis no solo (CAIRES et al., 1999, 2001a, 2004), aumentando a concentração

desses nutrientes no tecido das plantas (CAIRES et al., 2002), e pelo maior crescimento radicular (CAIRES et al., 2004) na exploração de um maior volume de solo em profundidade.

Quanto a resposta das plantas em função dessas melhorias do perfil do solo pelo gesso, há muitas divergências. Alguns trabalhos mostrando resultados apenas em maior estatura de planta (CUSTÓDIO et al., 2005; SOUZA et al., 2010), produção de matéria seca (CUSTÓDIO et al., 2005; SORATTO; CRUSCIOL, 2008b), eficiência de absorção de nutrientes (CAIRES et al., 2001a, 2003, 2006; CUSTÓDIO et al., 2005; RAMPIM et al., 2011) e melhor qualidade dos grãos colhidos (CAIRES et al., 2006).

Com relação às respostas na produção de grãos, os trabalhos de Nogueira e Melo (2003), Caires et al. (2003, 2006), Neis et al. (2010) revelam que, nas condições em que fizeram os estudos o gesso não incrementa a produção de grãos. Já outros trabalhos mostram que o gesso pode proporcionar resposta diferenciada em alguns componentes de rendimentos e produtividade de grãos, dependendo da espécie e até mesmo cultivar (SORATTO et al., 2010; CAIRES et al., 1999). No entanto, outros trabalhos, em geral revelam incrementos satisfatórios na produção de grãos (RAIJ et al., 1988; CAIRES et al., 1999, 2002, 2004; SORATTO et al., 2010; RAMPIM et al., 2011). Incrementos na produção de grãos também podem ser obtidos mesmo em solo de elevada fertilidade e sem problema de alumínio em subsuperfície (MASCHIETTO, 2009), como é o caso do utilizado neste trabalho, que representa a realidade da fertilidade do solo de um número significativo de lavouras de produção de grãos na região do Médio Alto Uruguai do Rio Grande do Sul, onde alguns agricultores especulam resposta das principais culturas (soja e milho) frente a utilização do gesso em suas lavouras, que vem sendo realizada sem respaldo técnico nas condições edafoclimáticas regional.

Por isso, a hipótese que fundamenta esse trabalho é que o gesso e/ou a intervenção mecânica do solo possibilita impacto positivo sobre a produtividade das culturas. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo verificar as respostas do milho e da soja, quanto alguns componentes de rendimento e na produtividade de grãos sob SPD, submetido a intervenções mecânicas do solo e aplicação de doses de gesso em superfície.

3.4 Material e Métodos

O experimento foi conduzido de julho de 2009 a fevereiro de 2013 no município de Jaboticaba – RS, cujas coordenadas geográficas são 27°40'29,03" sul e 53°17'51,28" oeste. O mesmo foi instalado em uma lavoura comercial cujo solo é caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006) e vinha sendo cultivado em SPD pelo menos há 12 anos, basicamente na sucessão trigo/soja e por vezes com milho. Antes da instalação do experimento o solo foi amostrado aleatoriamente na área de alocação do experimento em diferentes camadas até a profundidade de 0,40 m e os resultados da análise química são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização das camadas de solo até 0,40 m de profundidade antes da implantação do experimento. Frederico Westphalen – RS, 2014.

Camadas ---m---	Argila -----%-----	MO. ⁽¹⁾ ---	pH ⁽²⁾ ---	Al ⁽³⁾ -----Cmol _c dm ⁻³	Ca ⁽³⁾ -----Cmol _c dm ⁻³	Mg ⁽³⁾ -----Cmol _c dm ⁻³	CTC _{pH7,0} -----	S ⁽⁴⁾ -----mg dm ⁻³	P ⁽⁵⁾ -----	K ⁽⁵⁾ -----
0,00 a 0,10	69,8	2,8	5,8	0,0	4,4	2,4	10,8	11,3	11,9	175,3
0,10 a 0,20	78,3	2,3	5,6	0,0	3,7	1,7	9,3	10,7	5,2	54,0
0,20 a 0,40	75,3	1,9	5,4	0,2	2,3	1,3	7,7	10,5	4,3	69,0

⁽¹⁾Matéria Orgânica; ⁽²⁾pH em água 1:1; ⁽³⁾Extraído com solução de KCl 1 mol; ⁽⁴⁾ Extraído em [Ca(H₂PO₄)₂]; ⁽⁵⁾Mehlich-1.

O clima do local é subtropical úmido, Cfa, conforme classificação de Köppen (MORENO, 1961). A precipitação pluviométrica, durante o período de desenvolvimento de cada cultura foi obtida de dados coletados diariamente junto à estação meteorológica automática do INMET, instalada em Frederico Westphalen – RS, a 40 km do experimento (Figura 1).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições no esquema de parcelas subdivididas, em que as parcelas principais (5 x 20 m) constituíram-se por intervenções mecânicas com arado, escarificador e sem intervenção (SPD/aração+gradagem/SPD; e SPD/escarificação/SPD; SPD/contínuo) e nas subparcelas (5 x 5 m) doses de gesso (0; 2; 4 e 6 Mg ha⁻¹). As culturas e seus

respectivos tempos de cultivos não foram incluídos no delineamento experimental pelo fato de não ter sido repetido os mesmos cultivares/híbridos, respeitando a sucessão e rotação de culturas que o produtor havia planejado na área.

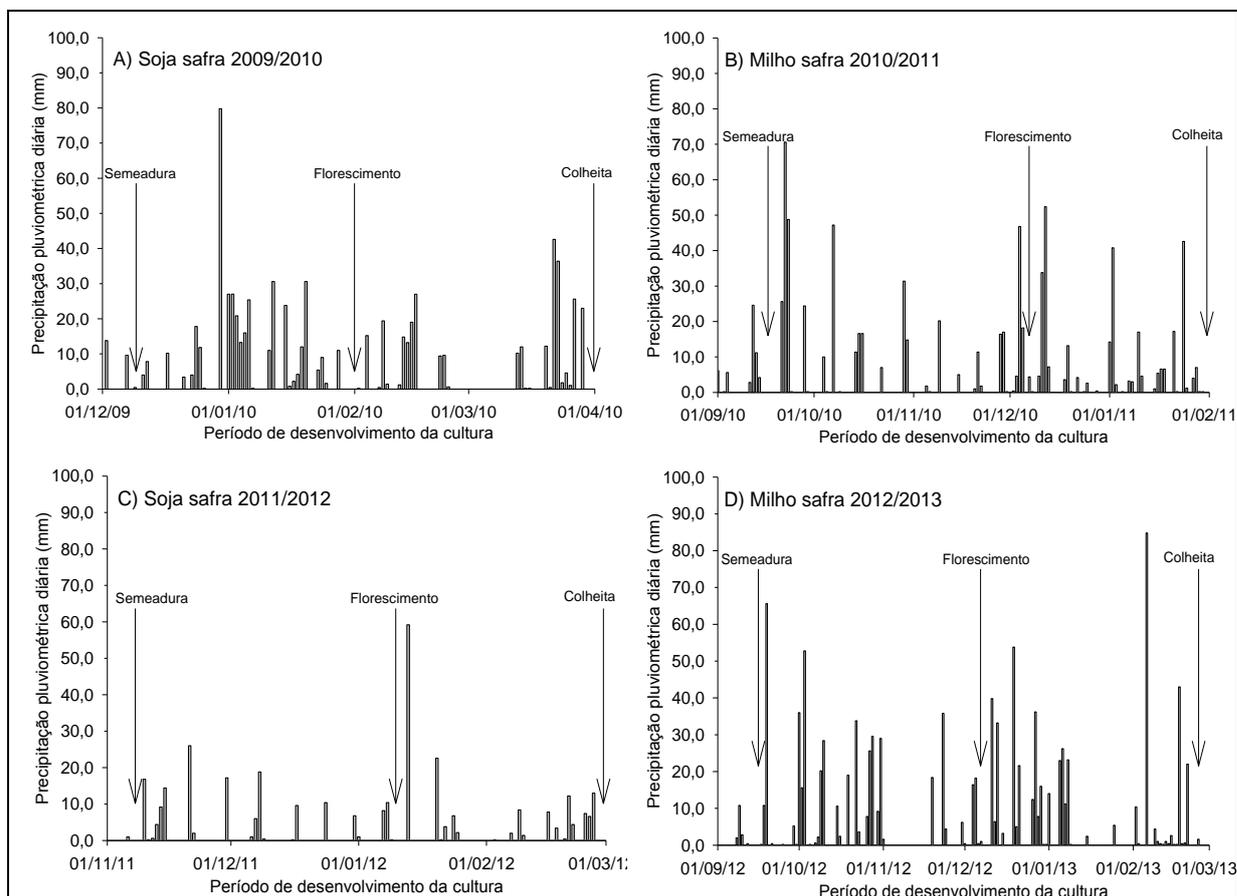


Figura1– Precipitação pluviométrica diária para as safras de soja 2009/2010 (A), milho 2010/2011 (B), soja 2011/2012 (C) e milho 2012/2013 (D). Frederico Westphalen – RS.

Com exceção do tratamento SPD contínuo, realizaram-se as intervenções mecânicas do solo antes da aplicação do gesso. As intervenções foram com arado de disco seguido de duas gradagens pesadas para o tratamento SPD/aração+gradagem/SPD e, com escarificador (profundidade 0,30m), para o tratamento SPD/escarificação/SPD. Concomitante a esta operação foi aplicado a lanço em área total e em superfície 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo e mantido na superfície para o tratamento SPD contínuo. Já para os demais

tratamentos, $\frac{1}{2}$ da dose foi aplicada antes da intervenção com arado ou escarificador e $\frac{1}{2}$ após esta operação antecedendo a gradagem.

Após realizada as operações de manejo de solo foi semeado aveia branca para cobertura do solo e quando a mesma completou a emergência aplicou-se o gesso a lanço em superfície, na dosagem correspondente a cada tratamento.

Após o cultivo da aveia branca foram utilizados os cultivos com sucessão Soja/aveia-preta/milho/trigo/soja/milho. A aveia preta foi cultivada com propósito de produção de palhada para cobertura do solo, a qual foi manejada em pleno florescimento, já o trigo foi fertilizado com base na reposição com expectativa de rendimento de 3 Mg ha^{-1} (CQFS-RS/SC, 2004) e realizada a colheita de grãos, no entanto, não foram realizados altos investimentos para a cultura.

O primeiro cultivo da soja (safra 2009/2010) foi com a cultivar “Fundacep 53[®] RR”, caracterizada como de elevado potencial produtivo, baixa estatura de plantas, tipo de crescimento determinado enquadrando-se no grupo de maturação 6,4. A semeadura não ocorreu na sua melhor época e foi atrasada para a primeira semana do mês de dezembro, por motivo de excesso hídrico no solo pelas altas precipitações registradas no mês de novembro, época preferencial para a cultivar. Utilizou-se 13,5 sementes viáveis por metro linear com espaçamento de 0,45 m entre linhas, atingindo-se uma população final de 300.000 plantas por hectare, conforme preconiza a detentora da cultivar para esta época de semeadura. A fertilização fosfatada foi na linha de plantio com 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 via superfosfato simples, e a lanço com 60 kg ha^{-1} de K_2O via cloreto de potássio. Não foi realizado inoculação de sementes para fixação biológica de nitrogênio.

O segundo cultivo de soja (safra 2011/2012) foi realizado com semeadura sobre palhada de trigo, na primeira quinzena de novembro, com a cultivar “BMX Energia[®] RR”, caracterizado como cultivar de alto potencial produtivo, ótimo engalhamento, média estatura de plantas, hábito de crescimento indeterminado e pertencente ao grupo de maturação 5,3. Foi utilizada a densidade de 11 sementes viáveis por metro linear, sendo as linhas espaçadas a 0,45 m, assegurando a população final de 244.444 plantas por hectare. Para esta safra a fertilização também foi com 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 via superfosfato simples na linha de semeadura e a lanço com 60 kg ha^{-1} de K_2O via cloreto de potássio. Não foi realizado inoculação de sementes para fixação biológica de nitrogênio. O controle de pragas doenças e

ervas daninha foram realizados conforme as indicações técnicas para a cultura (REUNIÃO..., 2008).

Todas as avaliações da soja foram realizadas após a cultura atingir a maturação fisiológica. Para determinação da variável altura de planta (AP), altura de inserção de legumes (AiL), legumes por planta (LP) e grãos por planta (GP), foram avaliadas dez plantas aleatórias por parcela para compor a média da mesma. As medidas de AiL e AP foram tomadas com referência do nível do solo até a inserção do primeiro e último legume da haste principal, respectivamente. Após a obtenção da AP e AiL, essas plantas foram coletadas e levadas ao laboratório para a contagem dos LP e GP. Para a determinação da produtividade foram colhidas manualmente as plantas das quatro linhas centrais em três metros de comprimento, perfazendo uma área útil de 5,4 m², sendo posteriormente efetuada a trilha em equipamento tratorizado estacionário. De posse da umidade, o peso foi corrigido para 13%, e calculado a produtividade por hectare. Estimou-se ainda o peso de mil grãos (PMG) para o primeiro cultivo, com base no peso médio de quatro repetições de 100 grãos.

O primeiro cultivo de milho (safra 2010/2011) foi realizado sobre palhada da aveia-preta com o híbrido “2A550[®]” que tem a tecnologia Herculex[®] I no controle das principais lagartas da cultura. É um híbrido simples de ciclo precoce, porte médio de plantas (2,0 m) e arquitetura semiereta. A semeadura foi realizada em meados de setembro na densidade de 2,9 sementes por metro linear com linhas espaçadas em 0,45 m, chegando a uma população final de 65.000 plantas por hectare. A fertilização de base foi de 350 kg ha⁻¹ da formulação comercial 09-25-15 (NPK) e em cobertura 175 kg ha⁻¹ de N via uréia, em uma única aplicação, em estágio V6. Não foi preciso realizar o controle de pragas, no entanto, o controle de invasoras foi realizado com herbicida pré-emergente de princípio ativo atrazine + simazine, conforme recomendação do produto.

A segunda safra de milho (2012/2013), última do experimento, foi semeada em meados de setembro cujo híbrido foi “AS1656[®]” que tem a tecnologia VT Pro 2[™], uma tecnologia que reúne em uma só planta as tecnologias Yield Gard VT PRO[™] e Roundup Ready[®] 2, no controle das principais lagartas da cultura e resistência ao herbicida registrado que contem o princípio ativo glifosato. É um híbrido simples, precoce, com plantas de porte médio e arquitetura de folhas semiereta. Para esse híbrido, foi trabalhado um população de 70.000 plantas por

hectare, com uma distribuição de 3,15 plantas por metro de linha, e com espaçamento de 0,45 m entre linha. A fertilização de base consistiu em 400 kg ha⁻¹ de formulação comercial (NPK) 10-20-10 e, em cobertura aplicou-se 150 kg ha⁻¹ de N via uréia, parcelado em duas aplicações, a primeira no estágio V4 e a segunda em V6. O controle de invasoras foi realizado com herbicida registrado para a tecnologia Roundup Ready[®] na dosagem recomendada pelo fabricante, sendo que o controle de pragas não foi necessário.

As avaliações de plantas foram realizadas quando a lavoura atingiu a maturação fisiológica, cuja altura de plantas (AP) e altura de inserção de espigas (AiE) foram medidas de dez plantas aleatórias da parcela, tomando-se como referência a superfície do solo e o nó de inserção da folha bandeira e da primeira espiga, respectivamente. A produtividade foi estimada pelo peso médio de grãos, trilhados com máquina manual, das espigas colhidas em três metros lineares de quatro linhas aleatórias de cada parcela, desprezando-se a bordadura de duas linhas em cada extremidade, com correção do teor de umidade para 13%. O peso de mil grãos (PMG) foi estimado pelo peso médio de 100 grãos, obtido de quatro repetições por parcela.

Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e quando as interações foram significativas realizou-se o desmembramento dos efeitos de tratamento de um fator dentro de cada nível de outro fator. Para os tratamentos qualitativos procederam-se com a comparação de médias com o teste de Tukey ($p < 0,05$) e para os tratamentos de doses de gesso com o ajuste de regressão polinomial, utilizando-se do programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

3.5 Resultados e Discussão

3.5.1 Cultura da soja

Ao observar os resultados da análise da variância da cultura da soja, constata-se que na primeira safra, cuja semeadura ocorreu aos quatro meses da

aplicação dos tratamentos, não houve interação dos fatores em estudo e nem diferença nos efeitos simples para todas as variáveis analisadas (Tabela 2). No entanto, na segunda safra de soja, (terceira do experimento) aos 28 meses da aplicação dos tratamentos, embora não ocorreu interação entre fatores, se observa diferença significativa das doses de gesso para as variáveis AP e produtividade.

Tabela 2 – Resumo da análise da variância com valores da probabilidade do teste F para altura de plantas (AP), altura de inserção de legumes (AiL), legumes por planta (LP), grãos por planta (GP), produtividade (Prod.) e peso de mil grãos (PMG), das duas safras de soja cultivada após intervenções mecânicas e aplicação de doses de gesso na superfície do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

Fonte de Variação	AP -----cm-----	AiL	LP -----n°-----	GP	Prod. kg ha ⁻¹	PMG ---g---
-----1ª Safra de Soja (2009/2010)-----						
Intervenção	0,8951	0,3336	0,6294	0,3269	0,0704	0,2612
Gesso	0,3733	0,5740	0,1103	0,2726	0,7779	0,1512
Gesso x Intervenção	0,2140	0,3855	0,1814	0,1117	0,3903	0,6522
CV Parcela (%)	7,80	9,25	15,29	12,04	8,70	5,48
CV Sub-parcela (%)	5,81	10,75	15,67	16,11	8,82	3,64
Média geral	69,99	14,74	48,50	88,11	3.493,62	162,33
-----2ª Safra de soja (2011/2012) ⁽¹⁾ -----						
Intervenção	0,5902	0,3421	0,8203	0,7748	0,1368	nd
Gesso	0,0131*	0,2469	0,0639	0,1507	0,0452*	nd
Gesso x Intervenção	0,1429	0,3093	0,6223	0,3249	0,1019	nd
CV Parcela (%)	4,62	10,66	20,14	20,72	15,04	nd
CV Sub-parcela (%)	3,43	6,96	13,38	12,45	8,59	nd
Média geral	47,08	15,52	14,82	33,75	1.197,46	nd

*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro; nd: não determinado; ⁽¹⁾ Ano agrícola com estiagem que afetou a soja no RS.

Essa falta de resposta da soja no seu primeiro cultivo pode estar relacionada ao pouco tempo de reação do gesso no solo em relação ao segundo cultivo (4 meses contra 28 meses), mesmo sendo o gesso um produto de razoável solubilidade e ter ocorrido grandes volumes de precipitações pluviométricas nos quatro primeiros meses da aplicação, motivo que atrasou a semeadura da soja, e

também posteriormente durante o desenvolvimento da cultura não se teve problemas consideráveis de falta de chuva (Figura 1A).

Avaliando a produtividade das culturas do milho e da soja em duas safras sucessivas após a aplicação de doses de até 8 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola em superfície em um Latossolo Vermelho distrófico (51% de argila) sob SPD, Trindade (2013) não encontrou respostas dessas culturas ao gesso, deduzindo o motivo de ser pouco tempo da aplicação (10 e 18 meses), embora encontrou resposta sobre os atributos de solo. No entanto, Quaggio et al. (1993) encontraram movimentação bastante intensa no perfil do solo dos produtos da solubilização do gesso já aos seis meses, mas a total solubilização do mesmo ocorreu após 18 meses, sem efeitos sobre a produtividade da soja.

Por outro lado, a segunda safra de soja passou por uma estiagem que atingiu grande área do estado do RS naquele ano, conforme pode ser constatado pelos dados de precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura (Figura 1C), o que pode ter sido mais um fator que tenha favorecido à expressão benéfica do gesso apenas naquela safra. Trabalhando o uso de calcário e gesso em superfície de um Latossolo Vermelho distroférico, com o objetivo de avaliar o desempenho da aveia preta, Soratto e Crusciol (2008a,b) observaram que os efeitos do gesso sobre a produtividade e o acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas foram beneficiados em ano com deficiência hídrica.

Quanto à falta de respostas no fator intervenção mecânica do solo, pode ter tido o efeito mascarado pela ótima precipitação pluviométrica ocorrido na primeira safra (Figura 1A) e, na segunda safra de soja (28 meses) pode ser justificada pelo efeito físico pouco duradouro das intervenções mecânicas (PRANDO et al., 2010; DRESCHER et al., 2011), que geralmente não altera a produtividade de grãos das culturas (SECCO, et al. 2004; COLLARES et al., 2008).

As produtividades médias de grãos da soja, safras 2009/2010 e 2011/2012, (Tabela 2) foram respectivamente, 76,3 e 29,1%, do potencial expresso pelas referidas cultivares (Fundacep 53 RR; BMX Energia RR) comparado ao ensaio de cultivares realizado na safra 2010/2011, na média de cinco locais dentro da região edafoclimática 103 para a soja, que inclui o local deste estudo (BERTAGNOLLI et al., 2011). Já, quando comparado com o ensaio de cultivares da safra de 2011/2012 (SOMMER et al., 2012), a produtividade média de grãos desta mesma safra foi

52,6% do rendimento expresso pela cultivar no ensaio, que pode ser explicado pela estiagem que atingiu a soja em boa parte das lavouras do estado.

Apesar da análise da variância ter revelado significância ($p=0,0131$) da variável AP para o fator doses de gesso na segunda safra de soja (Tabela 2), a análise complementar com regressão polinomial não foi significativa ($p=0,0911$), o que é normal em algumas circunstâncias (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Quatro anos após a aplicação de 2 Mg ha^{-1} de gesso incorporado com grade em um Latossolo Vermelho distroférrico em área de cerrado, Souza et al. (2010) cultivaram soja e obtiveram resposta apenas sobre a variável AP, sem alteração sobre AiL, LP e PMG, assim como neste trabalho. No caso da variável LP, Soratto et al. (2010) aplicaram $2,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso combinado com calcário e encontraram resposta negativa do gesso sobre esta variável para uma das cultivares de feijão carioca cultivado por eles, mas não deram explicação dessa resposta.

A produtividade de grãos em função das doses de gesso, na segunda safra de soja, revelou resposta polinomial de segundo grau com um aumento de 10% (1,9 sacas) até a dose da máxima eficiência técnica ($\text{MET}=3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) em relação a dose zero, com decremento de 5,5% quando passou-se para a dose de 6 Mg ha^{-1} conforme explicado pelo modelo matemático ($p=0,0452$) (Figura 2). São muitos os trabalhos que demonstram falta de resposta em produtividade de grãos da soja com o uso de gesso (QUAGGIO et al., 1993; CAIRES et al., 2003, 2006; NOGUEIRA; MELO, 2003; MASCHIETTO, 2009; NEIS et al., 2010; SOUZA et al., 2010; RAMPIM et al., 2011; TRINDADE, 2013), no entanto, Caires et al. (2006) constataram que o uso do gesso, apesar de não interferir na produtividade de grãos, pode ser usado em campos de produção de sementes como melhorador na qualidade dos grãos.

O aumento da produtividade de grãos até a dose de MET ($3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) pode ser consequência da elevação da relação Ca/Mg proporcionado pelo gesso na camada de solo explorada pelas raízes (MASCHIETTO, 2009), sendo o ideal quando se eleva a valor próximo a três (SALVADOR et al. 2011). Quanto aos benefícios do enxofre, trabalhos mostram que a soja não é responsiva ao suprimento deste nutriente (RHEINHEIMER et al., 2005), independente dos teores de argila e matéria orgânica do solo (RHEINHEIMER et al., 2007) e, principalmente quando os teores de S-SO_4^{2-} no solo são elevados (NOGUEIRA; MELLO, 2003) como é o caso desse estudo. A redução de produtividade proporcionado pelas

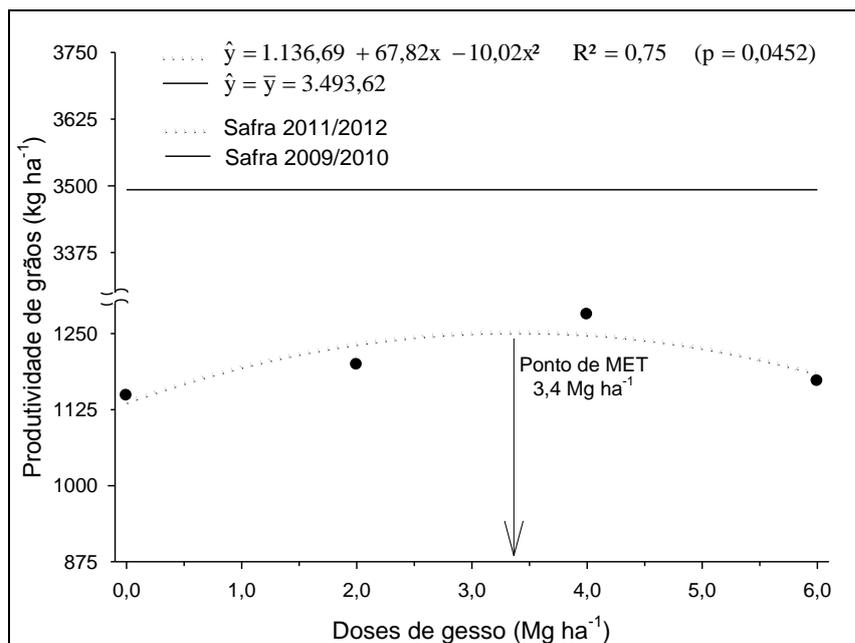


Figura 2 – Produtividade de grãos da soja na safra 2009/2010 e 2011/2012, em função da aplicação superficial de doses de gesso. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

doses de gesso superiores a da MET pode ser consequência de insuficiente suprimento de Mg^{2+} às plantas (CAIRES et al., 1998, 2003), ocasionado pelo seu deslocamento das camadas superficiais do solo, onde se concentra a maior parte do sistema radicular da soja, para as camadas pouco mais profundas (CAIRES et al., 1998, 1999, 2003; MASCHIETTO, 2009; RAMPIM et al., 2011) e, ainda tendo a absorção agravada pelo déficit hídrico do solo naquela safra.

3.5.2 Cultura do Milho

Na cultura do milho, a análise da variância revelou interação entre os fatores de estudo (gesso x intervenção mecânica) para as variáveis produtividade e PMG, apenas no primeiro cultivo (segundo do experimento). Já no segundo cultivo (último do experimento), as diferenças se restringiram as doses de gesso e somente para as variáveis AiE e produtividade de grãos (Tabela 3). Observa-se que no primeiro cultivo de milho as intervenções mecânicas de solo expressaram influência sobre as

variáveis analisadas, não diretamente, mas interagindo com o gesso, dando condições para que este expressasse resultados diferenciados sobre o desenvolvimento da cultura.

Tabela 3 – Resumo da análise da variância com valores de probabilidade do teste F, para altura de plantas (AP), altura de inserção de espigas (AiE), produtividade (Prod.) e peso de mil grãos (PMG), das duas safras de milho cultivado após intervenções mecânicas e aplicação de doses de gesso na superfície do solo, Frederico Westphalen, RS, 2014.

Fonte de Variação	AP -----cm-----	AiE	Prod kg ha ⁻¹	PMG ---g---
-----1ª Safra de milho (2010/2011)-----				
Intervenção	0,6372	0,8179	0,7945	0,8522
Gesso	0,0561	0,2118	0,0757	0,1284
Gesso x Intervenção	0,4575	0,7671	0,0005*	0,0023*
CV Parcela (%)	5,05	7,54	13,62	13,74
CV Sub-parcela (%)	2,34	5,29	9,49	3,69
Média geral	203,89	115,96	9.030,68	319,67
-----2ª Safra de milho (2012/2013)-----				
Intervenção	0,5139	0,5779	0,2406	0,1171
Gesso	0,2734	0,0008*	0,0082*	0,6076
Gesso x Intervenção	0,2872	0,0695	0,0561	0,0993
CV Parcela (%)	4,55	6,38	16,43	6,46
CV Sub-parcela (%)	3,70	3,54	9,79	4,63
Média geral	189,99	105,91	10.273,30	316,08

*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Ao contrário da produtividade de grãos que foi responsiva nos dois cultivos, o PMG foi sensível apenas no primeiro e a AiE apenas no segundo cultivo de milho, (Tabela 3). Observa-se que ambas variáveis responderam aos tratamentos com gesso em apenas um dos cultivos, o que pode ser explicado por serem híbridos diferentes e, associado a isso, pelas condições climáticas, sobretudo, as precipitações pluviométricas, serem distintas no decorrer do ciclo de cada safra de milho (Figuras 1 B e D). Já a AP permaneceu inalterada pelos tratamentos em ambos os cultivos, embora com diferenças quase significativas a 5% ($p=0,0561$)

para as doses de gesso na primeira safra. A variável AiE para o segundo cultivo de milho, apesar da análise da variância ter revelado significância pelo teste F ($p=0,0008$) para doses de gesso, a complementação com regressão polinomial não foi significativa ($p=0,0551$), o que é aceitável (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

O PMG diferiu apenas quando o gesso foi aplicado em superfície do solo após uma intervenção do SPD com escarificação, cujo incremento foi de 6,72 gramas (2,3%) para cada Mg ha^{-1} de gesso, conforme representa o coeficiente angular do modelo linear (Figura 3). Para o feijoeiro, Moraes et al. (1998) e Soratto et al. (2010) não encontraram resposta do gesso sobre esta variável e, nem Oliveira et al. (2007) para a cultura do milho.

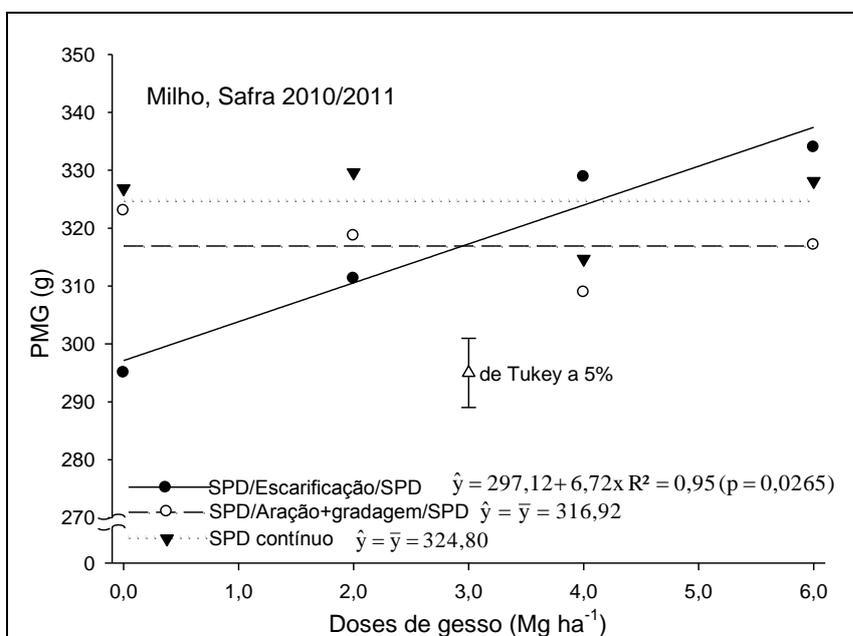


Figura 3 – Valores de PMG do milho na safra 2010/2011 em função das doses de gesso aplicadas em superfície do solo, para diferentes intervenções mecânicas. Frederico Westphalen – RS, 2014.

Com relação à produtividade de grãos observa-se que a aplicação de gesso em superfície, após uma intervenção mecânica do solo com aração+gradagem, não influenciou esta variável, e que pode ser explicado pela falta de significância do modelo matemático, cuja estimativa se dá pela média de $8.833,35 \text{ kg ha}^{-1}$ (147,22 sacas) (Figura 4). Isso pode ser atribuído à inversão e/ou mistura de camadas de solo proporcionado pelo arado de discos e a formação de uma camada superficial de

solo mais “empobrecida” sob o ponto de vista químico e que dificilmente teria sua fertilidade restabelecida já aos 14 meses da operação conforme apontado também por Bayer et al. (2003). Além disso, o revolvimento do solo em sistema convencional provoca perturbações promotoras de estresse na população microbiana e, uma vez que as adições de carbono são lentas, os microrganismos terminam por consumir parte do carbono orgânico do solo, causando sua redução (D’Andrea et al., 2002).

A aplicação de gesso em superfície após uma intervenção com escarificação mostrou-se eficiente no incremento de produtividade do milho, na ordem de 7,2% (8,9 sacas) para cada Mg ha^{-1} de gesso, conforme o coeficiente angular da equação linear ($p=0,0002$). É interessante destacar que tanto a produtividade quanto o PMG são explicados por modelo matemático de primeiro grau e, exclusivamente quando as doses de gesso foram aplicadas após intervenção do SPD com escarificador.

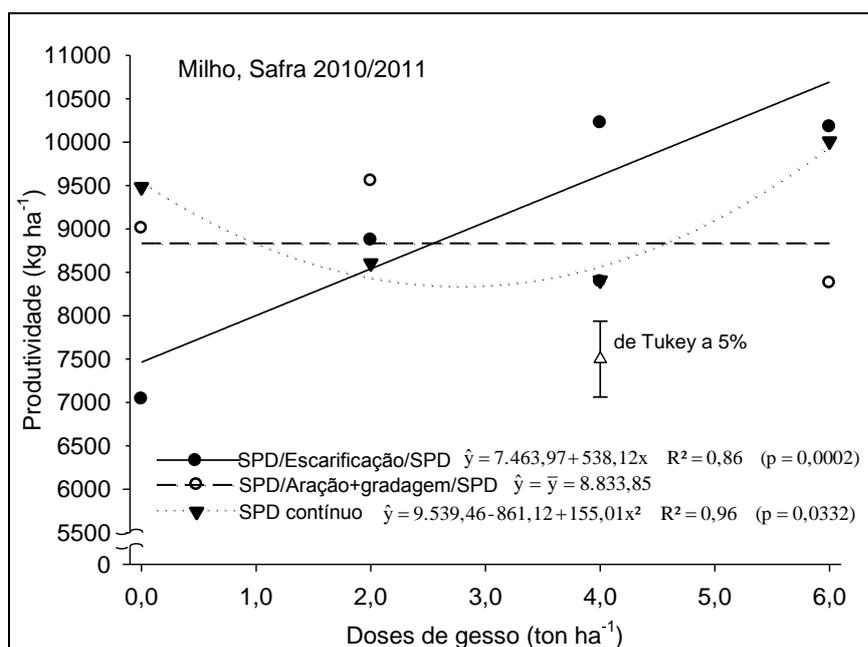


Figura 4 – Produtividade do milho na safra 2010/2011 em função das doses de gesso aplicadas em superfície do solo, para diferentes intervenções mecânicas. Frederico Westphalen – RS, 2014.

Levando em consideração o tempo desde a implantação do experimento até a primeira safra de milho (14 meses) é possível inferir que, apesar do solo de estudo apresentar ótima qualidade física (BERTOLLO, 2014), a escarificação do solo tenha

favorecido a infiltração de água no seu perfil (CAMARA; KLEIN, 2005) deslocando verticalmente além de $S-SO_4^{2-}$, parte do nitrogênio proveniente da mineralização do material orgânico que foi incorporado pelo revolvimento do solo (AMADO; MIELNICZUK, 2000) e do adicionado na fertilização da cultura. Isso porque quando não se aplicou o gesso (dose zero) os valores de produtividade e PMG, para o tratamento SPD/escarificação/SPD, mostraram-se estatisticamente abaixo dos valores observados nos tratamentos SPD/aração+gradagem/SPD e SPD contínuo (Figuras 3 e 4), ao ponto de que quando as doses de gesso foram aumentadas, sobretudo na dose de 6 Mg ha^{-1} , essa situação se inverteu. A hipótese que explicaria esse comportamento é que o gesso tenha suprido a camada de solo explorada pelas raízes com $S-SO_4^{2-}$ (CAIRES et al., 2003, 2004; MASCHIETO, 2009) e, conforme estudo de Patrizi e Serafim (2011) onde testaram o uso do gesso na minimização de perdas de nitrogênio por volatilização de amônia em dejetos de bovinos confinados, o $S-SO_4^{2-}$ presente no gesso reage com a amônia ocorrendo a formação de sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$) que não é volátil, maximizando assim a disponibilidade, a sua absorção e o teor foliar das plantas (CAIRES et al., 2004; SORATTO; CRUSCIOL, 2008b), visto ser o principal nutriente requerido para a obtenção de rendimento satisfatório pela cultura do milho (CQFS-RS/SC, 2004).

No tratamento com aplicação de gesso e sem intervenção mecânica (SPD contínuo) é observado um decréscimo de produtividade até um ponto de mínima na dose de $2,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 4), equivalente a uma queda de 12,5% (19,9 sacas) na produção de grãos, que recuperou em 19,3% (26,8 sacas) na dose de 6 Mg ha^{-1} e 4,5% (6,9 sacas) em relação a dose zero. Realizando um experimento com o uso de gesso para avaliar o desenvolvimento do capim “Tanzânia” cultivado em vasos sob casa de vegetação, Custódio et al. (2005) encontraram as menores concentrações (ponto de inflexão da curva) de nitrogênio, potássio, ferro zinco e cobre, nas folhas desta forrageira, com a dose de 2,8; 3,05; 2,8; 2,7 e $2,8 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. Os autores não esclareceram a relação entre o gesso e os referidos nutrientes no solo, que motivou a baixa disponibilidade no tecido foliar, mas sabe-se que as interações desses elementos na solução do solo são complexas, o que pode ter limitado a absorção de alguns deles pelo milho e repercutindo para apresentar este ponto de mínima no SPD contínuo. No entanto, não se tem uma explicação porque esse comportamento apenas no tratamento SPD contínuo.

No segundo cultivo de milho (safra 2012/2013) o fator doses de gesso elevou a produtividade de grãos em 204,71 kg (2,1%) para cada Mg ha⁻¹ de gesso aplicado em superfície, independente da intervenção mecânica, conforme representado pelo coeficiente angular da regressão linear ($p=0,0303$) (Figura 5). A ausência de um modelo matemático para esse cultivo, que explicaria a máxima eficiência técnica e, a presença de coeficiente de correlação acima de 85% (raiz quadrada de 0,77) entre doses de gesso e a produtividade, demonstra o quando a produção de grãos de milho é maximizada com o uso do gesso em relação a soja, concordando com Caires et al. (1999), Maschietto (2009) e Trindade (2013).

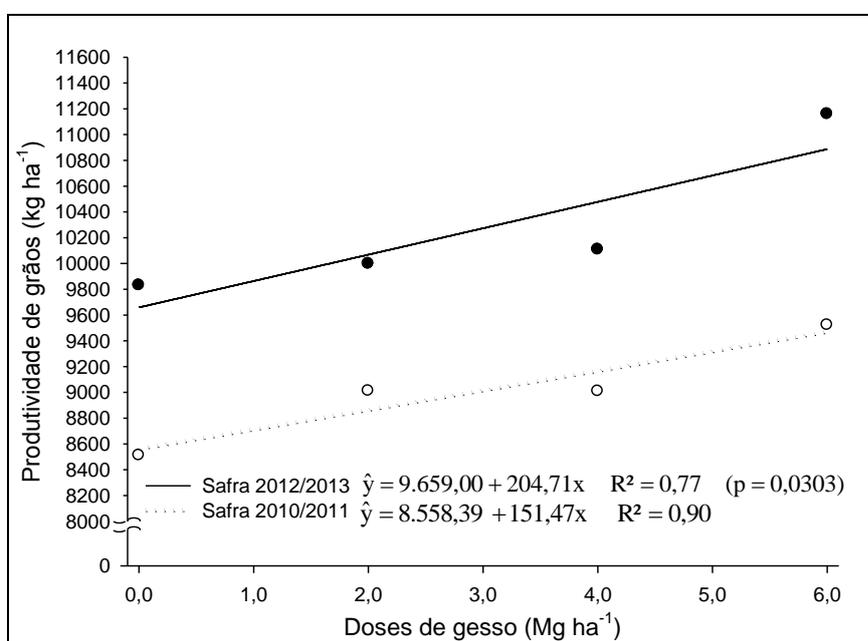


Figura 5 – Produtividade do milho na safra 2010/2011 e 2012/2013 em função das doses de gesso aplicadas na superfície do solo. Média das intervenções mecânicas do solo. Frederico Westphalen, RS, 2014.

Os benefícios do gesso no desenvolvimento do milho, de acordo com Caires et al. (1999) e Maschietto (2009), são consequência, principalmente, pelo aporte de S-SO₄²⁻ e também pelo aumento da relação Ca/Mg no solo, sendo que em solos com problemas de alumínio tóxico em subsuperfície os benefícios são ainda maiores (RAIJ et al., 1998; CAIRES et al., 1999), não sendo o caso deste estudo. Os autores Raji et al. (1998) afirmam que por mais que se queira dar importância ao crescimento radicular em subsuperfície, as raízes da camada arável terão sempre a

maior contribuição para a produtividade. É o caso do trabalho de Caires et al. (2004) em que o uso de 9 Mg ha⁻¹ de gesso, nas condições daquele experimento, elevou em 5% a produtividade do milho, que foi explicada pela maior absorção de nitrogênio e saturação de Ca²⁺ nas camadas superficiais do solo, do que pelo crescimento radicular em profundidade.

No entanto, nos solos de elevada fertilidade e ausência de acidez trocável em subsuperfície, como o do presente estudo e aquele utilizado por Maschietto (2009), percebe-se que o gesso tem maior contribuição na produtividade do milho pelo aporte de S-SO₄²⁻ no solo, visto ser uma cultura que responde ao fornecimento deste nutriente, desde que o suprimento hídrico não seja o limitante (RHEINHEIMER et al., 2005). Segundo Fancelli (2010), o milho exige de 3,0 a 3,5 kg ha⁻¹ de enxofre para cada tonelada de grãos produzida, sendo que solos com teores de S-SO₄²⁻ inferiores a 10 mg dm⁻³, usando como extrator o fosfato de cálcio, são considerados deficientes neste elemento para a cultura expressar tetos elevados de produtividade.

No trabalho de Maschietto (2009), o autor conseguiu maximização da produtividade de grãos de milho em 11% com a dose de 7,8 Mg ha⁻¹ de gesso (MET). Ele argumenta que o milho responde mais do que a soja com a elevação do teor de S-SO₄²⁻ e da relação Ca/Mg no solo, porque as gramíneas em geral possuem uma capacidade de troca de cátions das raízes mais baixa do que as leguminosas, sendo assim menos eficientes na absorção de íons bivalentes, como o SO₄²⁻ e Ca²⁺. Demais trabalhos também revelam maximização da produtividade milho com o uso de gesso agrícola, sendo que as doses de MET foram superiores a maior dose utilizada neste trabalho, assim sendo: 9,5 Mg ha⁻¹ (CAIRES et al., 1999), 6,4 Mg ha⁻¹ (TRINDADE, 2013) e 8,2 Mg ha⁻¹ para o trigo (CAIRES et al., 2002), já Caires et al. (2004) não atingiu a MET (regressão de primeiro grau) com a dose de até 9 Mg ha⁻¹ de gesso na presença de calcário no cultivo de milho.

3.6 Conclusão

Nas condições de realização deste estudo é possível concluir que:

A soja e o milho não respondem a intervenções mecânicas de solo sob SPD consolidado.

A soja apresenta apenas 10% (1,9 sacas) de incremento na produção de grãos com o uso de gesso e, apenas no segundo cultivo.

O milho responde às doses de gesso com uma maximização na produção de grãos, na média de dois cultivos, em 178 kg Mg⁻¹ de gesso, com ponto de MET acima das doses estudadas.

3.7 Referências Bibliográficas

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em solo argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28:519-531, 2004.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.553-560, 2000.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WIDNER, L. do P. et al. Incremento de carbon e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, n.3, p.469-475, 2003.

BERTAGNOLLI, P. F.; STRIEDER, M. L.; COSTAMILAN, L. M.; et al. **Rendimento de Grãos de Cultivares de Soja Tolerantes ao Glifosato, Rede Soja Sul de Pesquisa, safra 2010/11**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. 26p. Disponível em:<<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/soja/index.htm>>. Acesso em:15 ago 2012.

BERTOLLO, A. M. **Propriedades físicas de um Latossolo após calagem, gessagem, em manejos de solo**. 2014. 99 p. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2014.

CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J. et al. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.4, p.370-379, 2006.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J. et al. 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**, Viçosa, v.23, n.2, p.315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; CHUERI, W. A.; MADRUGA, E. F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em

sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.1029-1040, 2001a.

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

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G. et al. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.357-364, 2002.

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

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.789-796, 2005.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.933-942, 2008.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

CREMON, C.; ROSA-JÚNIOR, E. J.; SERAFIM, M. E. et al. Análise micro-morfométrica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.1, p.1399-146, 2009.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa: Editora UFV. v.1. 382 p. 2006.

CUSTÓDIO, D. P.; OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, K. A. de PINTO. et al. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-Tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, v.6, n.1, p.27-34, 2005.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.913-923, 2002.

DELLA-FLORA, L. P.; ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C. Mobilidade de cátions e correção da acidez de um cambissolo em função da aplicação superficial de calcário

combinado com sais de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1591-1598, 2007.

DENARDIN, J. E. Sistema Plantio Direto não é Empregado Corretamente. **Diário da manhã**. Passo Fundo, 2012. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br>>. Acesso em 13 mai 2012.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. **Vertical mulching: prática conservacionista mitigadora de perdas por erosão hídrica em sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008, 8p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 53).

DENARDIN, J. E.; FAGANELO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto: Problemas têm acontecido e são resultantes do descaso com a adoção plena do complexo de processos tecnológicos que compõem o sistema de plantio direto. **Revista A Lavoura**, Rio de Janeiro: SNA, v.112, n.671, p.20-22, 2009.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1713-1722, 2011.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. de. et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p. 393-402, 2007.

FANCELLI, A. L. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes na cultura do milho**. Piracicaba: IPNI. 2010. (Informações Agronômicas n° 131)

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MORAES, J. F. L.; BELLINGIERI, P. A.; FORNASIERI-FILHO, D. et al. Efeitos de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80. **Scientia Agricola**, v.55, n.3, p.75-82, 1998.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, 1961. 42 p.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. de. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.409-416, 2010.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.655-663, 2003.

OLIVEIRA, P. S. R.; FITTIPALDI, W. L. S. L.; OLIVEIRA-JUNIOR, P. R. et al. Efeitos de tipos de preparo do solo e uso do gesso agrícola sobre as características químicas e produtividade de milho e braquiária em cultivo consorciado. **Revista Scientia Agrária Paranaensis**, v.6, n.1-2, p.53-65, 2007.

PATRIZI, W. L.; SERAFIM, R. S.; Utilização de sulfato de cálcio (gesso agrícola) como aditivo para minimizar a perda de nitrogênio no esterco de bovinos de corte confinados. **FAZU em Revista**, Uberaba, n.8, p.196-201, 2011.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. V.11. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E. et al. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.693-700, 2010.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P. B. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.375-386, 1993.

RAIJ, B.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A. et al. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.101-108, 1998.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M. de. et al. 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**, Viçosa, v.37, n.4, p.1018-1026, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, J. F. et al. Atributos químico do solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1687-1698, 2011.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, v.5, p.49-134, 2007.

REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2008-2009**. 36ª Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul. Porto Alegre: Fepagro, 2008. 144 p.

RHEINHEIMER, D. dos S.; ALVAREZ, J. W. R.; OSÓRIO-FILHO, B. D. et al. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato no solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.562-569, 2005.

RHEINHEIMER, D. dos S.; ALVAREZ, J. W. R.; OSÓRIO-FILHO, B. D. et al. Resposta a aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p.363-371, 2007.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciência Agrária e Ambiental**, Curitiba, v.9, n.1, p.27-32, 2011.

SANTI, A. L. ; FIORIN, J. E. ; COCCO, K. L. T. et al. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 129, p. 18-25, 2012.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade Vertical de Fósforo e Potássio Disponíveis e Profundidade de Amostragem em Sistema Plantio Direto. **Ciência Rural**, v.30, n.4, p.611-617, 2000.

SCHLINDWEIN, J.A.; BORTOLON, L.; FIORELI-PEREIRA, E. C.; et al. Phosphorus and potassium fertilization in no till Southern Brazilian soils. **Agricultural Sciences**, v.4, n.12a, p.39-49, 2013.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.28, n.5, p.797-804, 2004.

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

SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D.; SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of Orange crop in na Ultisol of the Coastal Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.836–839, 2009.

SOMMER, V.; SARTORI, J. F.; KEHL, K. et al. **Desempenho de cultivares de soja indicadas para o Rio Grande do Sul: Resultados de 2010/2011**. Passo Fundo: Fundação Pró-Semente, 2012. 59p.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.675-688, 2008a.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.928-935, 2008b.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos de aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.715-725, 2008c

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELO, F. F. de CASTRO. Componentes de produção e produtividade de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.965-974, 2010.

SOUZA, F. R.; ROSA-JUNIOR, E. J.; FIETZ, C. R. et al. Atributos físicos e desempenho agronômico da cultura da soja em um Latossolo Vermelho distroférico submetido a dois sistemas de manejos. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.34, n.6, p.1357-1364, 2010.

TRINDADE, B. S. **Atributos químicos do solo e a produtividade de grãos afetados pelo gesso agrícola**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2297-2305, 2008.

4 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES

Considerando que foi amostrado solo nas diferentes camadas do perfil em uma única coleta (36 meses da aplicação dos tratamentos), não se pode afirmar qual foi a influência real do tempo nos teores dos cátions Mg^{2+} e K^+ no perfil do solo.

Considerando que a amostragem do solo não foi realizada em camadas de espessura equidistante, não se tem precisão em quantificar para afirmar o real deslocamento dos cátions no perfil do solo.

Considerando a alteração do gradiente de Ca^{2+} no perfil do solo até 0,10 m de profundidade, proporcionado pela intervenção mecânica de aração+gradagem, ao fazer uma analogia com as produtividades da soja e do milho, se observa que a alteração de gradiente deste nutriente não repercutiu diretamente sobre a soja e o milho, pois houve ausência de resposta dos métodos de intervenção para as culturas. Assim ficou evidente que foi mais relevante a alteração da relação Ca^{2+}/Mg^{2+} e o suprimento de $S-SO_4^{2-}$ proporcionado pelo gesso do que simplesmente a alteração do gradiente deste elemento.

No milho, o tratamento de intervenção com aração+gradagem ocultou o efeito do gesso às plantas no seu primeiro cultivo e, pode-se inferir que, além da relação Ca^{2+}/Mg^{2+} , principalmente os teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo foram os principais atributos para resposta das plantas ao gesso, o que podem não terem sido modificados a teores adequados para o ótimo desenvolvimento do milho naquele cultivo, além do arado ter trazido solo mais “pobre” para a superfície do perfil, conforme já discutido no artigo 2.

Considerando que as últimas safras de soja e milho foram cultivadas, respectivamente, antes e após a amostragem de solo nas camadas do perfil é possível afirmar que os efeitos do gesso sobre os atributos de solo avaliados e apresentados no artigo 1, justificam as respostas desses dois cultivos ao gesso, corroborando com resultados dos trabalhos referenciados no artigo 2.

Assim, o máximo rendimento de soja proporcionado pela dose de MET de gesso é explicado pela elevação da relação Ca^{2+}/Mg^{2+} para valor próximo a três e, a redução de rendimento nas doses acima a da MET se deu pela redução dos teores de Mg^{2+} das camadas superficiais de solo, com sua absorção possivelmente

prejudicada pelo déficit hídrico do solo em função da estiagem. Para o milho os incrementos lineares de produtividade em função das doses de gesso são explicados, além da elevação da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, principalmente pela elevação dos teores de SO_4^{2-} no solo proporcionado pelo gesso.

Considerando que dos componentes de rendimento avaliados na cultura do milho, a resposta em PMG refletiu em comportamento semelhante da reta de resposta da produtividade, pode-se inferir que possivelmente o PMG da soja no seu segundo cultivo, cuja avaliação não foi realizada, poderia justificar a resposta de produtividade de grãos.

Considerando que a dose de MET para a soja foi de $3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, se poderia assumir como esta uma dose que beneficiaria tanto o milho quanto a soja e realizar uma análise simplificada de custo benefício do uso do gesso, num sistema produtivo de milho e soja para um período de quatro safras, como o do presente estudo. Para tanto se precisa fazer mais algumas considerações:

O preço pago pela tonelada de gesso posto no local, por ocasião da instalação do experimento, foi de R\$120,00. Acrescentando-se 10% como custo que o produtor teria para distribuição do produto na lavoura, tem-se um custo total de R\$448,80 por ha ($(120,00 + 10\%) \times 3,4 = 448,80$);

Considerando os resultados obtidos, em que no primeiro ano não se obtém reflexos na produção e, que o incremento no rendimento da soja foi em 1,8 sacas por ha, com preço médio da saca de R\$50,00, tem-se uma receita via soja de R\$90,00 ($1,8 \times 50,00 = 90,00$);

Para o milho pode-se considerar o incremento médio da produção sugerido pelo modelo matemático das duas safras, na ordem de $2,97 \text{ sacas ha}^{-1} \text{ Mg}^{-1}$ de gesso em cada safra ($(2,97 \times 3,4 \times 2 \text{ safras}) = 20,20$), resultando em 20,2 sacas de milho adicional, em dois anos. Considerando o preço médio do milho em R\$ 22,00, a receita via milho ficaria em R\$440,00 ($22,00 \times 20 = 440$);

Somando a receita do milho com a receita da soja tem-se uma entrada de R\$530,00 ($440,00 + 90,00 = 530,00$) para cobrir o custo de R\$448,8 do gesso, resultando num líquido de R\$81,20 por ha ($530,00 - 448,80 = 81,20$). Essa margem de rentabilidade proporcionada pelo uso do gesso pode-se considerar muito estreita e vulnerável, pois a produtividade das culturas, os preços dos produtos agrícolas e da aquisição do gesso, poderão sofrer variações que não viabilizaria a utilização deste produto. Deve ser considerado que apesar do gesso agrícola ser um produto

relativamente barato, a disponibilidade para o estado do RS é dependente da aquisição de outros estados, encarecendo em até 500% no valor de frete dependendo da distância.

Desta forma, a utilização do gesso agrícola nas condições de solo de boa fertilidade no RS, como as do presente estudo, pensando na maximização da rentabilidade dos cultivos de soja e do milho, não é um investimento com retorno garantido. A atratividade do investimento depende da disponibilidade barata do gesso ou da escala de produção da propriedade rural. Quem sabe o retorno seja bem mais atrativo em solos de fertilidade menor aos do presente estudo.

Visto que a maximização da produtividade do milho tenha se dado pelo aporte de enxofre ao solo via gesso, não necessariamente o produtor tem apenas este como opção para elevar os teores deste nutriente no solo. Talvez o uso de outras fontes sulfatadas, como por exemplo, o sulfato de amônio via adubação nitrogenada de cobertura, o superfosfato simples via adubações fosfatadas, ou outros fertilizantes de base que contenham nas suas formulações este nutriente, otimizariam os custos de produção e proporcionassem os mesmos resultados que o gesso. Isso cabe como sugestão de futuros estudos voltados a custo benefício quanto ao uso de fontes diversificadas de enxofre nas culturas de grãos.

Aos futuros trabalhos com gesso na região do presente estudo, sugerem-se que as amostragens de solo sejam realizadas temporalmente e que as camadas de solo no perfil sejam coletadas em espessuras equidistantes, na profundidade de pelo menos até 0,6 m. Quanto as doses de gesso é conveniente trabalhar com pontos na curva que contemplem quantidades superiores ao deste estudo. Seria interessante também trabalhar com o comparativo de solos de alta e baixa fertilidade.

5 CONCLUSÃO FINAL

Nas condições edafoclimáticas da realização do estudo pode-se concluir que:

As intervenções mecânicas do solo não influenciam os efeitos do gesso sobre o gradiente de cátions no perfil do solo e as produtividades de grãos do milho e soja.

A intervenção do solo com aração+gradagem altera o gradiente de Ca^{2+} no solo sob SPD e, o gesso tem pouco potencial de mobilizar verticalmente os cátions do solo, sendo que os efeitos são limitados aos 0,10 m de profundidade.

O uso do gesso agrícola mostra pouca maximização na produção de soja e boa maximização na produção de milho, sendo o aporte de enxofre no solo o principal fator maximizador.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.275-286, 2003.

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

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.789-796, 2005.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, v.192, p. 37-48, 1997.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R. et al. Acidificação de um Latossolo Sob Plantio Direto. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.1055-1064, 2002.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.933-942, 2008.

FEBRAPDP. Evolução da área cultivada no sistema de plantio direto na palha, 2012. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf. Acesso em: 04 fev. 2014.

DENARDIN, J. E. Sistema Plantio Direto não é Empregado Corretamente. **Diário da manha**. Passo Fundo, 2012. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=72778>>. Acesso em: 13 mai. 2012.

DENARDIN, J. E.; FAGANELO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto: Problemas têm acontecido e são resultantes do descaso com a adoção plena do complexo de processos tecnológicos que compõem o sistema de plantio direto. **Revista A Lavoura**, Rio de Janeiro-SNA, n.671, Abr. 2009.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v.18, p.33-34, 2008.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. et al. **Evolução da área cultivada sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 32p. (Embrapa Trigo. Documentos, 29)

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1713-1722, 2011.

GONÇALVEZ, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e Infiltração de água no solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.3, p.337-345, 2012.

JUNGUES, A.; CARDOSO, L. **Estiagem no Rio Grande do Sul: um problema recorrente no estado**. Entrevista especial. 2012. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/506067-estiagem-no-rio-grande-do-sul-um-problema-recorrente-no-estado-entrevista-especial-com-amanda-jungues-e-loana-cardoso>. Acesso em: 13 mai 2012.

MACHADO, P. L. O. A. **Considerações gerais sobre a toxicidade de alumínio nas plantas**. Rio de Janeiro : EMBRAPA – CNPS, 1997. 22p.

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. de. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.409-416, 2010.

NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. **Usos do gesso agrícola**. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2005. 36p. (Boletim Técnico, 122).

OSÓRIO-FILHO, B. D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES-SOBRINHO, T. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1777-1785, 2011.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E. et al. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.693-700, 2010.

RAMOS, B. Z. **Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfatos em Latossolo sob altas doses de gesso**. 2012. 96 f. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M. de. et al. 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**, Viçosa, v.37, n.4, p.1018-1026, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, J. F. et al. Atributos químico do solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1687-1698, 2011.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**. v. 5, p.49-134, 2007.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade Vertical de Fósforo e Potássio Disponíveis e Profundidade de Amostragem em Sistema Plantio Direto. **Ciência Rural**, v.30, n.4, p. 611-617, 2000.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.5, p.797-804, 2004.

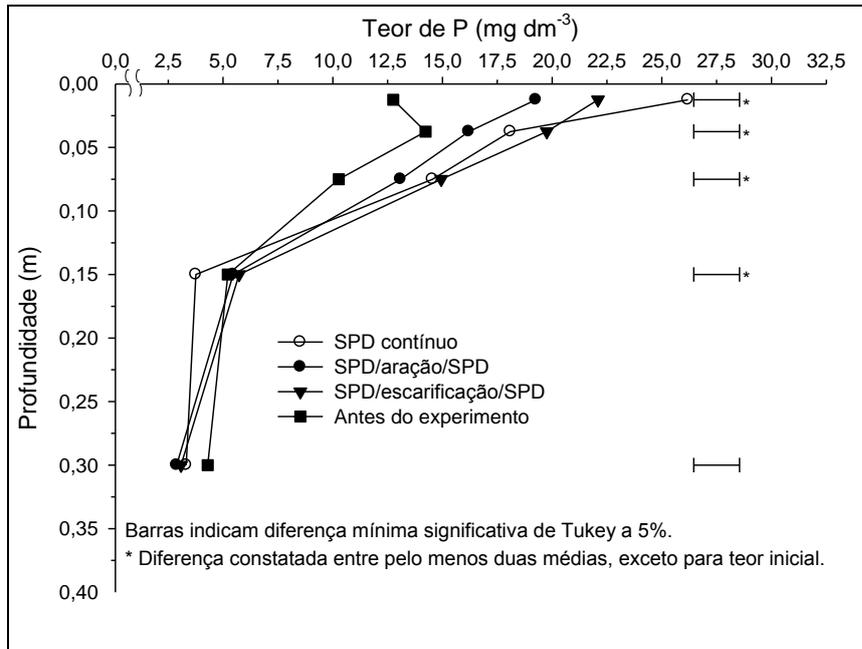
SECCO, D.; ROS, C. O.; SECCO, J. K. et al. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.407-414, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.675-688, 2008.

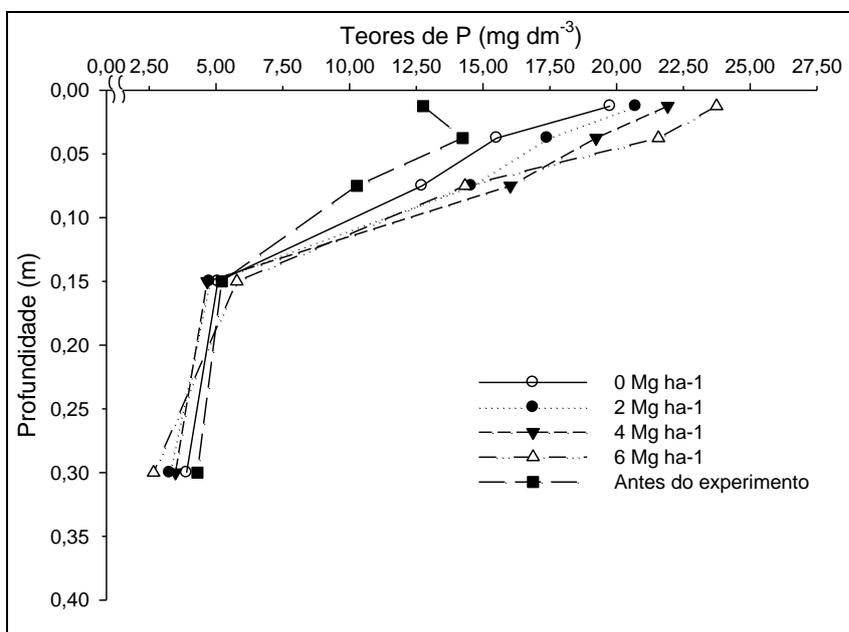
SOUSA, D. M de.; LOBATO, E. REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado**. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados, 2005. (Circular Técnica 32).

7 APÊNDICES

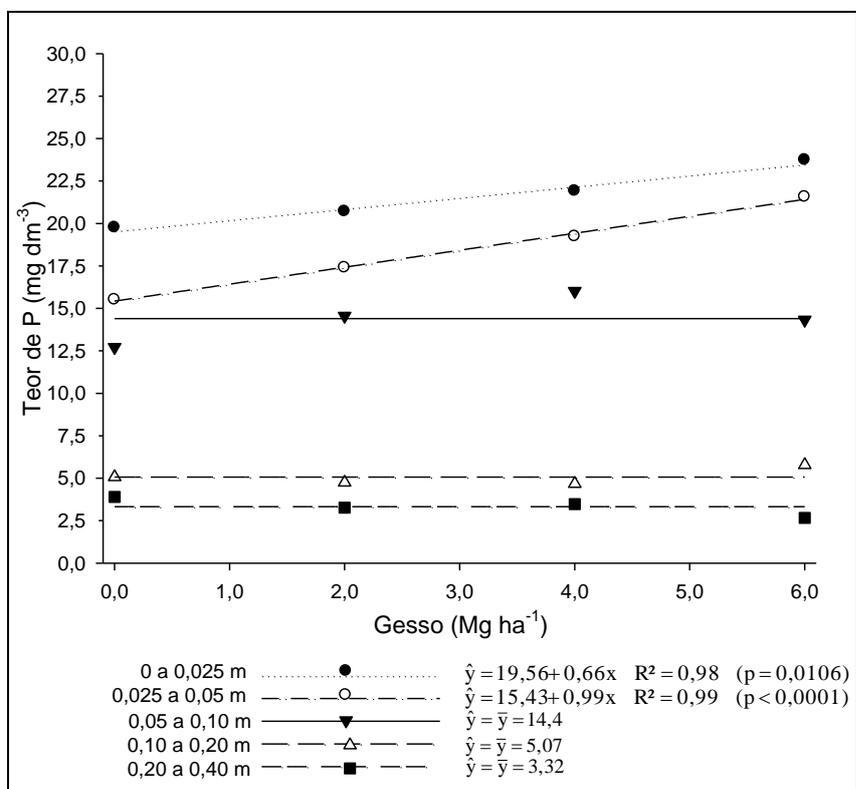
Apêndice A – Distribuição dos teores de P nas camadas do perfil do solo, antes e após as intervenções mecânicas do solo, Frederico Westphalen, RS, 2014.



Apêndice B– Distribuição dos teores de P nas camadas do perfil do solo, antes e após a aplicação de doses de gesso em superfície do solo, Frederico Westphalen, RS, 2014.



Apêndice C– Teores de P para as camadas do perfil do solo em função das doses de gesso aplicados em superfície, Frederico Westphalen, RS, 2014.



Apêndice D– Teores médios de Ca^{2+} , Mg^{2+} , relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, K^+ , S-SO_4^{2-} e P nas camadas do perfil do solo, antes do experimento, para cada dose de gesso em SPD contínuo e para cada tipo de intervenção mecânica na ausência de gesso, após 36 meses da instalação do experimento, Frederico Westphalen, RS, 2014.

Camadas	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	K^+	S-SO_4^{2-}	P
m	----- $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ -----		-----	----- mg dm^{-3} -----		
Antes do experimento						
0,00-0,10	4,44	2,45	1,81	175,34	11,31	11,88
0,10-0,20	3,71	1,75	2,12	53,95	10,73	5,22
0,20-0,40	2,28	1,27	1,79	69,03	10,54	4,30
SPD contínuo (2 Mg de gesso ha^{-1})						
0,00-0,10	4,48	2,18	2,05	140,75	8,98	20,16
0,10-0,20	3,91	1,92	2,04	43,21	7,51	3,23
0,20-0,40	2,23	1,29	1,73	19,43	16,33	2,62
SPD contínuo (4 Mg de gesso ha^{-1})						
0,00-0,10	4,90	1,87	2,63	124,82	10,25	17,90
0,10-0,20	3,88	1,84	2,11	39,62	10,04	4,41
0,20-0,40	2,11	1,19	1,77	16,12	14,05	3,59
SPD contínuo (6 Mg de gesso ha^{-1})						
0,00-0,10	5,01	1,80	2,78	93,29	8,54	18,02
0,10-0,20	3,6	1,27	2,83	26,09	15,15	3,79
0,20-0,40	2,12	0,94	2,25	19,43	14,92	2,76
SPD contínuo (sem gesso)						
0,00-0,10	4,51	2,41	1,87	106,45	8,89	18,23
0,10-0,20	3,24	1,79	1,81	34,49	11,44	4,02
0,20-0,40	1,9	1,25	1,52	12,04	11,8	2,77
SPD/escarificação/SPD (sem gesso)						
0,00-0,10	4,29	2,40	1,79	117,79	8,34	13,86
0,10-0,20	3,43	1,73	1,98	29,45	9,35	4,57
0,20-0,40	1,9	1,1	1,72	4,78	14,58	3,29
SPD/aração/SPD (sem gesso)						
0,00-0,10	4,65	2,32	2,00	194,37	7,90	12,61
0,10-0,20	4,13	1,77	2,33	35,84	8,65	6,62
0,20-0,40	2,77	1,24	2,23	16,13	14,64	1,67