

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

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO APÓS  
CALAGEM, GESSAGEM EM MANEJOS DE SOLO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Altamir Mateus Bertollo**

**Frederico Westphalen, RS, Brasil**

**2014**

# **PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO APÓS CALAGEM, GESSAGEM EM MANEJOS DE SOLO**

**Altamir Mateus Bertollo**

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 obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

**Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva**

**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).

Bertollo, Altamir Mateus  
Propriedades físicas de um Latossolo após calagem,  
gessagem em manejos de solo / Altamir Mateus Bertollo.-  
2014.  
99 p. ; 30cm

Orientador: Vanderlei Rodrigues da Silva  
Coorientadores: Edson Campanhola Bortoluzzi, Claudir  
José Basso  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, CESNORS-FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia -  
Agricultura e Ambiente, RS, 2014

1. Calcário 2. Gesso 3. Estrutura do solo 4. Difração  
laser I. da Silva, Vanderlei Rodrigues II. Bortoluzzi,  
Edson Campanhola III. Basso, Claudir José IV. Título.

---

© 2014

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

E-mail: altamirmateus@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**

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO APÓS CALAGEM,  
GESSAGEM EM MANEJOS DE SOLO**

elaborada por  
**Altamir Mateus Bertollo**

como requisito parcial para obtenção do grau em  
**Mestre em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Vanderlei Rodrigues da Silva, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Dalvan José Reinert, PhD (UFSM)**

---

**Edson Campanhola Bortoluzzi, Dr. (UPF)**

Frederico Westphalen, 27 de fevereiro de 2014.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida, pelas oportunidades que tem me proporcionado.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA), pela oportunidade de cursar o ensino público de qualidade.

Ao professor Eng. Agr. Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva, pela orientação, confiança, incentivo e apoio prestado no decorrer do Mestrado, pela amizade e parceria dentro e fora da Universidade.

Aos demais professores e à coordenação do PPGAAA, pelo empenho e dedicação em transmitir o conhecimento, auxiliando-nos no desenvolvimento profissional e pessoal.

Aos amigos e colegas do laboratório de física do solo (LFS), Ezequiel (Salsa), Luciano, Willian, Patrícia, Cícero, Bonini, Jaison, Jackson, Valdecir, Somavilla, Strojaski, Carlos Pires, Lucas Alves (Timão), Lucas Perin (Pumba), Jonas Piovesan, Valéria e Rose, pela colaboração na execução das atividades, pela parceria e amizade.

Aos laboratoristas do Centro de Educação Superior Norte RS (CESNORS), Menegol e Michele, e ao laboratorista do Centro de Ciências Rurais (CCR) Alex Giuliani, pelo empréstimo dos equipamentos e acompanhamento durante a execução das atividades.

Em especial aos meus pais, Adalto e Algenir Bertollo, pelo incentivo à educação, por acreditarem em meu potencial, nunca deixando que eu desistisse de alcançar os objetivos. Aos meus irmãos, Adalgir e Gilvan, pelo apoio e incentivo.

A minha namorada, Tássia Becker Alexandre, pela confiança, compreensão e apoio. Por se fazer presente mesmo nos momentos que tivemos que estar ausentes.

Enfim, a todos aqueles que fizeram e fazem parte desta caminhada, contribuindo direta ou indiretamente para que vencesse esta importante etapa.

A todos vocês, o meu MUITO OBRIGADO!

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

Leonardo Da Vinci

## **RESUMO**

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

### **PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO APÓS CALAGEM, GESSAGEM EM MANEJO DO SOLO**

AUTOR: ALTAMIR MATEUS BERTOLLO

ORIENTADOR: VANDERLEI RODRIGUES DA SILVA

Data e Local da Defesa: Frederico Westphalen, 27 de fevereiro de 2014.

O sistema de plantio direto, amplamente utilizado no Rio Grande do Sul, proporciona melhorias no ambiente solo planta. Contudo, devido ao tráfego de máquinas em áreas não revolvidas, têm-se a formação de camadas subsuperficiais com maiores estados de compactação. Os implementos utilizados para romper as camadas compactadas acabam rompendo os agregados do solo, desestruturando-o. Na calagem e gessagem são introduzidos ao solo íons que podem influenciar na aproximação de suas partículas e, conseqüentemente, na agregação deste. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos das práticas de calagem e gessagem nas propriedades físicas do solo em área de plantio direto submetida a diferentes operações de manejo de solo. Em junho de 2009, foi realizado a implantação do experimento em Latossolo Vermelho cultivado há mais de dez anos sob sistema de plantio direto. Foi adotado delineamento de parcelas subdivididas, com diferentes operações de preparo do solo alocadas nas parcelas principais (plantio direto + aração; plantio direto + escarificação; plantio direto contínuo), doses de calcário em subparcelas (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e doses de gesso em subsubparcelas (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>). Três anos após a implantação do experimento foram abertas trincheiras e coletadas amostras de solo em diferentes camadas (0 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm), a fim de diagnosticar o efeito dos tratamentos no perfil do solo. Com anéis volumétricos, foram coletadas amostras de solo para determinação da densidade do solo, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo e resistência à penetração. Blocos com estrutura preservada foram coletados e desfragmentados manualmente em agregados. Com auxílio de peneiras, foram separados agregados com diâmetro entre 8 a 4,75 mm para análise de estabilidade de agregados em água e com diâmetro entre 1 e 2 mm para análise de difração a laser de microagregados. A calagem e a gessagem alteraram as propriedades físicas, ocorrendo a diminuição da macroporosidade e porosidade total, aumento da resistência à penetração e, conseqüentemente, a diminuição na área submetida à escarificação. A agregação do solo foi influenciada pelas práticas de manejo e doses de calcário e gesso. As menores frações de agregados são mais sensíveis em diagnosticar alterações na estrutura do solo, discriminado pelo Índice de Estabilidade de Agregados para a difração a laser.

**Palavras-chave:** Calcário. Gesso. Estrutura do solo. Difração laser.

## **ABSTRACT**

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

### **PHYSICAL PROPERTIES OF NA OXISOL AFTER LIMING, GYPSUM APPLICATION ON SOIL MANAGEMENT**

AUTHOR: ALTAMIR MATEUS BERTOLLO  
ADVISOR: VANDERLEI RODRIGUES DA SILVA  
Frederico Westphalen, RS, February 27<sup>th</sup>, 2014.

The tillage system, widely used in Rio Grande do Sul, provides improvements in plant soil environment. However, due to the traffic of machines in areas not have upturn the formation of subsurface layers with higher compaction states. To adapt the soil to crops is necessary practices of tillage. The implements used for these practices beyond breaking compacted layers end up breaking the soil aggregates, disrupting it. In lime and gypsum is added to the soil ions that can influence the approximation of soil particles and consequently the aggregation of this. The objective of this study is to evaluate the effects of liming and gypsum application practices in the area of tillage subjected to soil management operations, the physical properties. In June 2009 the establishment of the experiment was conducted, in Oxisol cultivated over ten years under no-tillage, was adopted split-split plot design, with different tillage operations of the allocated land in main plots (tillage + plowing, tillage + scarification and continuous tillage), lime rates in subplots (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) and rates of gypsum in subsubplots (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>). Three years after the implementation of the trial trenches soil samples were collected and opened. Samples were collected at different layers (0 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm) in order to diagnose the effect of product in the soil profile. Soil core soil samples were collected to determine soil density, microporosity and macroporosity and total porosity of soil penetration resistance. Blocks with preserved structure were collected and manually defragmented in aggregate. With the aid of sieves were separated aggregates with diameters between 8 a 4,75 mm for analysis of aggregate stability in water and aggregates with diameters between 1 e 2 mm for laser diffraction analysis of microaggregates. Liming and gypsum altered the physical properties, without a decrease in macroporosity and total porosity, increased resistance to penetration, which decreased the area under the scarification. The aggregation of the soil was influenced by management practices and lime and gypsum. Smaller fractions of aggregates are more sensitive in diagnosing changes in soil structure, broken down by the Stability Aggregate Index for laser diffraction.

**Keyword:** Limestone. Gypsum. Soil structure. Laser diffraction.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

- Figura 1 - Relação da macroporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ) para os três manejos de solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo (SPD)) e os tratamentos (doses de calcário e doses de gesso agrícola). .....22
- Figura 2 - Valores médios de macroporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) para as seis camadas do perfil do solo. ....23
- Figura 3 - Microporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) para as diferentes camadas do perfil do solo. ....25
- Figura 4 - Relação da porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ ) para os três manejos de solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo (SPD)) e os tratamentos (doses de calcário e doses de gesso agrícola). .....26
- Figura 5 - Distribuição da porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ ) para as camadas do perfil do solo. ....28
- Figura 6 - Relação da densidade do solo ( $D_s$ ) ( $Mg m^{-3}$ ) para os três manejos de solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo (SPD)) e os tratamentos (doses de calcário e doses de gesso agrícola). .....29
- Figura 7 - Densidade do solo ( $Mg m^{-3}$ ) para as camadas do perfil do solo. ....30
- Figura 8 - Relação da Resistência à penetração (MPa) para os três manejos de solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo (SPD)) e os tratamentos (doses de calcário e doses de gesso agrícola). .....32
- Figura 9 - Resistência à penetração para as seis camadas do perfil do solo nos três manejos de solo. ....33

### ARTIGO II

- Figura 1 - Correlação entre o Carbono Orgânico Total (COT) e o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) para os três manejos de solo. ....47
- Figura 2 - Diâmetro Médio Geométrico (DMG) nos tratamentos dose de calcário ( $D_c$ ) em diferentes doses de gesso nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto com uma aração. ....48
- Figura 3 - Diâmetro Médio Geométrico (DMG) nos tratamentos dose de gesso ( $D_g$ ) em diferentes doses de calcário nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto com uma aração. ....50
- Figura 4 - Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para a interação entre os tratamentos dose de calcário e dose de gesso no manejo sistema de plantio direto + aração. ....51

Figura 5 -	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para os tratamentos dose de calcário nas seis camadas do perfil do solo cultivado sob sistema de plantio direto + aração. ....	52
Figura 6 -	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos tratamentos dose de calcário (dc) nas camadas 5 (20 a 30 cm) e 6 (30 a 40 cm) no manejo de solo sistema de plantio direto + aração. ....	53
Figura 7 -	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para os tratamentos dose de gesso agrícola nas seis camadas do perfil do solo cultivado sob sistema de plantio direto + aração. ....	54
Figura 8 -	Diâmetro Médio Geométrico (DMG) para a interação entre os tratamentos dose de calcário e dose de gesso no manejo sistema de plantio direto + escarificação. ....	55
Figura 9 -	Diâmetro Médio Geométrico (DMG) para os tratamentos dose de gesso agrícola nas seis camadas do perfil do solo cultivado sob sistema de plantio direto + escarificação. ....	56
Figura 10 -	Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos tratamentos dose de gesso (dg) para a primeira camada (0 a 5 cm) no manejo de solo sistema de plantio direto + escarificação. ....	57
Figura 11 -	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para a interação entre os tratamentos dose de calcário e dose de gesso no manejo sistema de plantio direto + escarificação. ..	58
Figura 12 -	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para os tratamentos dose de gesso agrícola nas seis camadas do perfil do solo cultivado sob sistema de plantio direto + escarificação. ....	59
Figura 13 -	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos tratamentos dose de gesso (dg) na camada 5 (20 a 30 cm) no manejo de solo sistema de plantio direto + escarificação. ....	60
Figura 14 -	Diâmetro Médio Geométrico (DMG) nos tratamentos dose de calcário (Dc) em diferentes doses de gesso nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto contínuo. ....	61
Figura 15 -	Diâmetro Médio Geométrico (DMG) nos tratamentos dose de gesso (Dg) em diferentes doses de calcário nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto contínuo. ....	63
Figura 16 -	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) nos tratamentos dose de calcário (Dc) em diferentes doses de gesso nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto contínuo. ....	64
Figura 17 -	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) nos tratamentos dose de gesso (Dg) em diferentes doses de calcário nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto contínuo. ....	66

### ARTIGO III

- Figura 1 - Curvas de distribuição do tamanho de partícula ( $\mu\text{m}$ ) para os agregados expostos à ação ultrassônica (Agregação sonificação) e agregação natural (Agregação natural) de microagregados ( $< 2 \text{ mm}$ ). ..... 79
- Figura 2 - Índice de estabilidade de agregados (IEA) para fração com diâmetro  $2\mu\text{m}$ , fração com diâmetro  $50 \mu\text{m}$  e agregação para fração de diâmetro  $212 \mu\text{m}$  em amostras de microagregados, sem pré-tratamento das amostras, nos tratamentos com aplicação de doses de calcário e gesso..... 80
- Figura 3 - Índice de estabilidade de agregados para os três diâmetros de malha nas seis camadas do perfil do solo. .... 81
- Figura 4 - Índice de estabilidade de agregados (IEA) para fração com diâmetro  $2\mu\text{m}$ , fração com diâmetro  $50\mu\text{m}$  e agregação para fração de diâmetro  $212 \mu\text{m}$  em amostras de microagregados expostas à ação ultrassônica nos tratamentos com aplicação de doses de calcário ..... 82
- Figura 5 - Índice de estabilidade de agregados para as malhas com diâmetro  $\leq 2 \mu\text{m}$ ,  $\leq 50 \mu\text{m}$  e  $\leq 212 \mu\text{m}$ , nas seis camadas do perfil do solo. .... 83
- Figura 6 - Correlação entre o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) em função do Carbono Orgânico Total (COT) nas três frações analisadas ( $2 \mu\text{m}$ ,  $50 \mu\text{m}$  e  $212 \mu\text{m}$ ) em amostras de agregados com diâmetro de 1 a 2 mm com e sem exposição à sonificação. .... 84
- Figura 7 - Distribuição dos teores de Carbono Orgânico Total (COT) para os três manejos de solo nas seis camadas do perfil de solo. .... 86
- Figura 8 - Diâmetro Médio Geométrico (DMG) para microagregados com exposição à ação ultrassônica e sem pré-tratamento das amostras nos três manejos de solo..... 87
- Figura 9 - Distribuição do DMG no perfil do solo para as amostras de microagregados com e sem exposição à ação ultrassônica..... 88

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 ARTIGO 1 - EFEITO DA CALAGEM E GESSAGEM NOS PARÂMETROS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM DIFERENTES PREPAROS DO SOLO .....</b>	<b>15</b>
2.1 Introdução.....	16
2.2 Material e Métodos.....	18
2.3 Resultados e Discussão.....	20
2.3.1 Macroporosidade do solo .....	21
2.3.2 Microporosidade do solo .....	24
2.3.3 Porosidade total do solo.....	25
2.3.4 Densidade do solo.....	28
2.3.5 Resistência à penetração .....	31
2.4 Conclusões.....	34
2.5 Referências Bibliográficas.....	35
<b>3 ARTIGO 2 - EFEITO DA CALAGEM E GESSAGEM EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO NA AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO .....</b>	<b>40</b>
3.1 Introdução.....	41
3.2 Material e Métodos.....	43
3.3 Resultados e Discussão.....	46
3.3.1 Carbono Orgânico Total .....	46
3.3.2 Sistema de plantio direto + aração.....	47
3.3.3 DMG sistema de plantio direto + escarificação .....	54
3.3.4 Sistema de plantio direto contínuo. ....	60
3.4 Conclusões.....	67
3.5 Referências Bibliográficas.....	67
<b>4 ARTIGO 3 – MICROAGREGAÇÃO DO SOLO COMO RESPOSTA AO MANEJO DO SOLO, E DOSES DE CALCÁRIO E GESSO.....</b>	<b>73</b>
4.1 Introdução .....	74
4.2 Material e Métodos.....	76
4.3 Resultados e Discussão.....	78
4.3.1 Índice de Estabilidade de Agregados para a agregação natural do solo.....	79
4.3.2 IEA para amostras expostas a ação de ultrassom .....	82
4.3.3 Carbono Orgânico Total .....	85
4.3.4 Diâmetro Médio Geométrico.....	87
4.4 Conclusões.....	88
4.5 Referências .....	89
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>94</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A formação dos agregados pode ser elucidada através da teoria da “hierarquização dos agregados”, apresentada por Tisdall & Oades (1982). Estes autores propõem uma classificação de acordo com o tamanho dos agregados, sendo os menores que 250  $\mu\text{m}$  denominados microagregados e, os maiores, macroagregados.

A formação de cada agregado é dada pela união dos agregados da classe que vem logo abaixo, seguindo uma ordem hierárquica, sendo que, cada classe de agregados é unida por diferentes agentes de agregação. Para Tisdall & Oades (1982), as substâncias húmicas associadas com ferro, alumínio e aluminossilicatos são agentes de ligação persistentes de microagregados. Os polissacarídeos atuam como agentes de ligação transitórios, sendo decompostos rapidamente pelos microrganismos e associados a agregados > 250  $\mu\text{m}$ . Bastos et al. (2005) destacam a importância das substâncias húmicas na estabilidade dos agregados do solo. Bronick & Lal (2005) observaram a importância dos resíduos derivados das raízes na estabilização de macroagregados. Brandão & Silva (2012) concluem que o sistema radicular da planta favorece a formação e estabilização dos agregados de solo com maiores incrementos nas classes de agregados de menor diâmetro.

Mangalassery et al. (2013), estudando a influência do tamanho dos agregados no efeito estufa, diagnosticaram que as práticas de manejo que buscam a melhor estruturação do solo têm efeito na liberação de gases de efeito estufa. Os autores sugerem que práticas de manejo, como o plantio direto, que têm implicação na estrutura e características de agregados e poros, devem ser priorizadas para reduzir os gases de efeito estufa.

O manejo do solo, em especial o sistema de plantio direto, tem uma forte influência sobre os mecanismos de estabilização e dinâmica de carbono orgânico nos solos aráveis (VON LÜTZOW et al., 2008). A proteção física do carbono no sistema de plantio direto resulta no aumento da estabilidade de agregados (PLAZA-BONILLA et al., 2013), enquanto que no preparo convencional, a ruptura dos macroagregados pela ação mecânica dos implementos de manejo do solo expõe o carbono orgânico do sistema à decomposição microbiana (ZOTARELLI et al., 2007). Assim, Six et al. (2000) e Jacobs et al. (2009), em experimentos de longa duração, encontraram uma diminuição no conteúdo de macroagregados em áreas de preparo convencional quando comparada à área de plantio direto e preparo reduzido.

Técnicas de cultivo como o preparo reduzido do solo estão se tornando ambientalmente mais sustentáveis. Isto porque há economia de energia para realizar o preparo do solo para a semeadura (HUSNJAK et al., 2002), redução de custos de máquinas e horas de trabalho (BOXBERGER et al., 2005) e maiores quantidades de carbono são estabilizadas do que liberadas (KÖGEL-KNABNER & LÜTZOW 2005), além da presença de maior massa microbiana que atua na formação e estabilização de agregados (RAMPAZZO et al., 1995), disponibilizando no ambiente maior diversidade de espécies se comparado ao sistema de preparo convencional (MÄDER et al., 2002).

Além de proporcionar um ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas, o sistema de plantio direto promove melhorias no ambiente solo. O preparo do solo influencia tanto a estabilidade de agregados como a sua composição química (KASPER et al., 2009). Souza et al, (2012) apontam que o plantio direto promove aumento nos teores de cálcio, enxofre e soma de bases e saturação por bases. O cálcio é um elemento importante para a estabilização da matéria orgânica do solo e de agregados, através do seu papel na formação de complexos com a argila e a matéria orgânica pela ponte catiônica (BRONICK & LAL, 2005). Esta ligação é uma forma de estabilizar e aumentar o tempo de permanência do carbono no solo, devido à proteção física derivada da formação dos microagregados (BAYER et al., 2011). Para Ferreira et al. (2013), a aplicação de gesso e calcário incrementou o teor de  $Ca^{+2}$ , sendo que este se correlacionou com o conteúdo de carbono do solo.

Naramabuye e Haynes (2006) comentam que o plantio direto, devido à presença de matéria orgânica, aumenta o pH do solo e reduz a toxicidade por alumínio. Como esta contribuição do sistema de plantio direto nas propriedades químicas do solo ocorre em pequena escala, em condições de solos ácidos tem-se a necessidade de fazer uma correção através da calagem.

A calagem é utilizada com o intuito de elevar o pH dos solos, reduzindo sua acidez e tornando o ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas. Os efeitos da aplicação de calcário nas propriedades físico-químicas do solo podem alterar as propriedades físicas do solo, em função da sua característica mineralógica e da dose de calcário aplicada (PRADO 2003). Para Castro et al. (2011), a aplicação de corretivos da acidez pode promover prejuízos à estabilidade de agregados e a outros atributos físicos do solo, por modificar a composição química do mesmo.

Segundo Blum et al. (2013), a calagem tem ação limitada ao local de aplicação, não tendo efeito rápido na redução da acidez de camadas mais profundas, o que ocorre quando o material é incorporado ao solo ou com a lixiviação de carbonatos através do perfil do solo.

O tempo de reação do calcário pode variar de acordo com a dose utilizada e da forma como o material é aplicado. Caires et al, (2000) observaram que o calcário aplicado em superfície apresenta efeito lento, agindo nas propriedades químicas do solo após 28 meses.

A combinação de aplicação de gesso e calcário pode compensar o efeito reduzido de reação do calcário apenas no local de aplicação, onde o gesso atua nas camadas subsuperficiais, sem que ocorra a necessidade de incorporação prévia ou revolvimento (CAIRES et al., 2003). O gesso agrícola apresenta ainda efeito residual no solo quando aplicado em grande quantidade, sobretudo em solos argilosos (CAIRES et al., 2011; BLUM et al., 2011).

A aplicação de gesso, também conhecida como gessagem, possibilita melhorias no subsolo (RAIJ, 2008), ambiente que geralmente é pouco favorável às raízes. O gesso atuaria diminuindo a saturação por alumínio e aumentando os teores de cálcio e enxofre, o que juntamente com adubação equilibrada constitui técnica fundamental para a grande maioria dos solos brasileiros (VITTI, 2008). O gesso vem sendo utilizado há algumas décadas para a correção de níveis tóxicos de alumínio e elevação dos teores de cálcio em camadas mais profundas do solo (ZAMBROSI et al., 2007), com recomendações baseadas no teor de argila do solo, cujas doses são inferiores a  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

A gessagem pode atuar como condicionador das estruturas do solo (ROSA JUNIOR et al., 2006), favorecendo a agregação e, conseqüentemente, melhoria na estrutura do solo. O uso de gesso é mais eficaz na melhoria da estrutura do solo por formar ponte catiônica com argilas e carbono orgânico do solo (ZHANG e NORTON, 2002). Há ainda outros atributos físicos como densidade do solo e porosidade que podem ser alterados pela combinação do sistema de manejo e a gessagem (COSTA et al., 2007).

Quando o solo apresenta impedimento físico ou químico à penetração de raízes, a água existente nas camadas abaixo desses impedimentos fica inacessível para as plantas. Isto reduz a capacidade do solo em suprir água devido à diminuição do volume do solo explorado pelas raízes. Em solos ácidos, onde ocorre esta camada de barreira química, o gesso agrícola é uma importante ferramenta para rompê-la.

A hipótese na qual se baseia esta pesquisa é de que a combinação de doses de calcário e gesso possa resultar em um ambiente físico favorável ao desenvolvimento das culturas em área agricultável submetida a diferentes operações de preparo de solo, com níveis de fertilidade elevados. O objetivo é avaliar o efeito da calagem e gessagem nas propriedades físicas de um Latossolo.

## **2. ARTIGO 1- EFEITO DA CALAGEM E GESSAGEM NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM DIFERENTES PREPAROS DO SOLO**

### **RESUMO**

Operações de preparo do solo alteram a sua estrutura, resultando em modificações das propriedades físicas do solo. A calagem e a gessagem se caracterizam por um aporte de íons, que tendem a reagir com os elementos presentes no solo. Assim, o presente estudo tem por objetivo diagnosticar o efeito da calagem e gessagem nos parâmetros físicos de um Latossolo vermelho em diferentes operações de preparo do solo. Em junho de 2009, foi instalado o experimento, com delineamento experimental de blocos com parcelas subdivididas. Nas parcelas alocaram-se as práticas de manejo do solo (plantio direto + aração; plantio direto + escarificação e sistema de plantio direto contínuo). Nas subparcelas as doses de calcário (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e nas subsubparcelas as doses de gesso agrícola (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>), a área foi cultivada com culturas anuais e, três anos depois, foi realizada a coleta das amostras com estrutura preservada nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm. Em laboratório, foram determinadas densidade do solo, microporosidade, macroporosidade, porosidade total do solo e resistência à penetração. O calcário combinado em doses de gesso agrícola proporcionou a diminuição da macroporosidade e o aumento da resistência à penetração. A escarificação foi eficiente para diminuir a resistência do solo à penetração, principalmente na camada de 10 a 20 cm.

**Palavras chave:** Densidade do solo. Porosidade do solo. Resistência à penetração.

**EFFECT OF LIMING AND GYPSUM APPLICATION IN THE PHYSICAL ATTRIBUTES OF NA OXISOL UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS**

## ABSTRACT

Operations of tillage alter the structure, resulting in changes in soil physical properties. Liming and gypsum applications are characterized by a contribution of ions, which tend to react with the elements present in the soil. Thus, this study aims to diagnose the effect of liming and gypsum application on the physical parameters of an Oxisol under different tillage operations. In June 2009, the experiment was carried out with randomized block design with split plot, the plots allocated up the practices of soil management (conventional, chisel plow and tillage system), subplots lime rates (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) and the subsubplots doses of gypsum (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>), the area was planted with annual crops and three years later the collection of samples was performed, through volumetric ring at depths of 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm. Were determined in the laboratory soil density, microporosity and macroporosity and total porosity of the soil penetration resistance. The combined limestone, gypsum provided decrease in macroporosity and increased resistance to penetration. Scarification was efficient to decrease the resistance to penetration, especially in the 10-20 cm layer.

**Keywords:** Density. Porosity of the soil. Resistance to penetration.

## 2.1 Introdução

A necessidade de se aumentar a produção de alimentos ao longo dos anos agrega a demanda por um acréscimo de produção por área das culturas agrícolas. Porém, o uso intensivo do solo pode ocasionar, com o passar do tempo, a degradação química, física (ANDRADE et al., 2009) e biológica do solo. Através disso, a adoção de práticas conservacionistas do solo surge a fim de se manter este recurso não renovável produtivo ao longo dos anos.

Nos cultivos agrícolas, a permanência dos resíduos culturais na superfície protege o solo contra o impacto direto das gotas da chuva e reduz a perda de água e de solo por erosão hídrica (HERNANI et al., 1997). A redução da cobertura resulta na diminuição da camada fértil do solo, reduzindo a capacidade de produção dos mesmos. Enquanto que, o incremento

de cobertura vegetal no solo, resulta em maiores índices de adição de carbono no sistema, o que influencia diretamente nos atributos físicos do solo (VASCONCELOS et al., 2010).

O Sistema de Plantio Direto (SPD) tem sido avaliado como sustentável, devido aos seus efeitos positivos na conservação do solo e na construção integrada da fertilidade do solo sob aspectos químicos, físicos e biológicos (HOBBS, 2007). A influência do SPD sobre os processos biológicos é, em grande parte, mediada por microrganismos do solo (VAN GROENIGEN et al., 2010). Estes microrganismos mineralizam os resíduos vegetais, produzindo resíduos microbianos (KÖGEL-KNABNER, 2002). Açúcares e aminoácidos estão entre os resíduos mais importantes no solo e são provenientes da degradação destes microrganismos. A concentração de açúcares e aminoácidos na camada superficial é reduzida quando o solo é mobilizado por práticas de manejo (ZHANG et al., 2014).

Apesar de tais benefícios do SPD sobre o solo, ocasionado por sua baixa mobilização, esta prática pode provocar graves problemas de compactação das camadas subsuperficiais do solo (ROSA et al., 2011). A compactação do solo resulta em camadas com diminuição do espaço poroso (TOLON-BECERRA et al., 2011), impedimento do desenvolvimento radicular da cultura (CHEN & WEIL, 2011) e até mesmo da infiltração de água no solo (BODNER et al., 2010).

A escarificação dos solos é uma prática de manejo que pode ser usada pra romper camadas compactadas, com pequena interferência no acúmulo de palha na superfície do solo. Segundo Klein et al. (2008) e Girardello (2010), esta prática auxilia na redução da densidade do solo, densidade relativa, resistência mecânica à penetração e conseqüente aumento da porosidade total e macroporosidade. Klein et al. (2008) verificaram ainda que a escarificação proporciona aumentos de produtividade do trigo semeado sete meses após a operação de manejo do solo. Outra vantagem na escarificação do solo se dá pelo rompimento de camadas compactadas e aberturas de fissuras no perfil do solo, facilitando a movimentação dos insumos aplicados na superfície, como o calcário utilizado na correção da acidez, sendo este, um método que apresenta custos menores e com menor desagregação do solo, quando comparado ao preparo convencional. Garcia et al. (2004) verificaram maior produtividade da cultura do feijão quando feita a aplicação do calcário em superfície seguida de uma escarificação.

A utilização de fertilizantes nitrogenados, a dissociação do CO<sub>2</sub> no solo, a hidrólise do alumínio (Al<sup>3+</sup>), a decomposição da matéria orgânica do solo e a utilização de plantas leguminosas são fontes acidificadoras do solo. Nesse contexto, o uso do calcário e do gesso agrícola é estudado e comprovado como a forma mais viável de correção da acidez e

formação de perfil do solo (devido ao fato do gesso ser um ótimo carreador de elementos em profundidade), respectivamente. Porém, existem poucos estudos relacionados à interferência do calcário e gesso agrícola nas propriedades físicas do solo. Bonini & Alves (2012), avaliando a qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação, há 17 anos utilizando-se adubos verdes, calcário, gesso e pastagem, verificaram que o tratamento com guandu ou feijão-de-porco e braquiária com calagem e gesso proporcionou menor resistência do solo à penetração e menor densidade do solo na profundidade até 0,30 m.

No entanto, a grande maioria das pesquisas atribui as mudanças estruturais do solo a efeitos indiretos das aplicações de calcário e gesso, como a ação da alongação do sistema radicular das culturas, as quais proporcionariam um maior desenvolvimento devido às melhores condições químicas do solo (MEDEIROS et al., 2009) ou ao estímulo à atividade biológica do solo (ALBUQUERQUE et al., 2003).

Baseando-se no exposto, adota-se como hipótese neste trabalho que a aplicação de gesso e calcário em cobertura ou incorporado interfere nas propriedades físicas do solo. Assim, objetivou-se nesta pesquisa avaliar as propriedades físicas do solo sob influência de doses de gesso e calcário em três sistemas de manejo do solo.

## 2.2 Material e métodos

O experimento foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006) cultivado sob SPD há mais de dez anos, em área localizada no município de Boa Vista das Missões, Rio Grande do Sul. O clima da região, segundo a classificação de Maluf (2000), é subtropical com primavera úmida (ST PU), com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1.919 mm ano<sup>-1</sup>. Com teores de matéria orgânica para as camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm de 2,8, 2,3 e 1,9 %, respectivamente (SOMAVILLA, 2014).

Em julho de 2009, foi instalado o experimento, cujo delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais (20 x 20 m), alocaram-se as práticas de manejo de solo: i) sistema de plantio direto + aração (convencional) (1 aração a 40 cm de profundidade + 2 gradagens); ii) sistema de plantio direto + escarificação (escarificado) (escarificação até 30 cm de profundidade); iii) sistema de plantio direto contínuo. As subparcelas (20 x 5 m) receberam os tratamentos que constaram

nas combinações de doses de calcário (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e nas subsubparcelas (5 x 5 m) doses de gesso (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>). Para os tratamentos onde houve revolvimento do solo, a aplicação de calcário foi realizada de maneira fracionada, com a aplicação de 50 % da dose antes do revolvimento do solo e o restante depois da operação de manejo. O gesso foi aplicado na superfície do solo após as operações de manejo de solo e semeadura da aveia preta, sem incorporação mecânica. As culturas implantadas na área foram: aveia preta – soja – trigo – milho – aveia preta – soja e, no cultivo de inverno de 2012, a área permaneceu em pousio para coleta das amostras.

Para as análises de densidade do solo, microporosidade do solo, macroporosidade do solo, porosidade total e resistência do solo à penetração, foram abertas trincheiras em cada subparcela e coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos de policloreto de polivinila (PVC) com volume de 98 cm<sup>3</sup> (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura), em seis profundidades do perfil do solo (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 e 30-40 cm), com auxílio de martelo pedológico e extrator. As amostras foram envolvidas em filme plástico e transportadas para o laboratório de física do solo da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen, onde o volume de solo nas amostras foi devidamente ajustado e estas foram saturadas em água por 24 horas. As amostras saturadas foram pesadas e alocadas em mesa de tensão a 0,006 MPa por 48 horas (REINERT & REICHERT, 2006), sendo a massa destas registradas e determinada a resistência do solo à penetração pelo penetrômetro de bancada (modelo MA 933 Marconi), utilizando-se diâmetro da base do cone de 4 mm e ângulo de 30° com velocidade de inserção de 10 mm min<sup>-1</sup>. A resistência à penetração foi determinada através da equação 1:

$$IC = ((F * 9,806648)/A)/1 * 10^6 \quad (1)$$

onde: IC= Índice de cone (MPa); F= força (kg f); A= área do cone (m<sup>2</sup>).

Após a determinação de RP, as amostras foram alojadas em estufa a 105° C por 24 horas para determinação da massa de solo seco.

Para calcular a densidade do solo, dividiu-se a massa das amostras secas a 105 °C pelo volume do anel volumétrico, conforme equação 2:

$$Ds = Mss/Vt \quad (2)$$

onde: Ds= Densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>); Mss = massa da amostra de solo seca à 105 °C; Vt = volume total do anel.

O cálculo da porosidade total do solo foi obtido através da relação existente entre a densidade do solo e a densidade de partículas, conforme equação 3:

$$P_t = 1 - (D_s/D_p) \quad (3)$$

onde:  $P_t$ = porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ );  $D_s$ = Densidade do solo ( $Mg m^{-3}$ );  $D_p$ = Densidade de partículas ( $Mg m^{-3}$ ).

A microporosidade foi determinada utilizando o teor de água retida nas amostras em equilíbrio com a tensão de 0,006 MPa, considerando que essa tensão é suficiente para retirar toda a água contida nos macroporos, sendo que a água restante representa o volume de microporos, obtida pela equação 4:

$$M_i = (P_{0,006MPa} - m_{ss})/V_t \quad (4)$$

onde:  $M_i$ = Microporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );  $P_{0,006MPa}$ = massa de solo após a tensão de 0,006 MPa ( $Mg$ );  $m_{ss}$ = massa de solo seco ( $Mg$ );  $V_t$ = volume total do anel ( $m^3$ ).

Assim, conhecendo a porosidade total e a microporosidade é possível calcular a macroporosidade (CAMARGO et al., 2009), de acordo com a equação 5:

$$M_a = P_t - M_i \quad (5)$$

onde:  $M_a$ = macroporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );  $P_t$ = porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ );  $M_i$ = microporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e à comparação de médias pelo teste de Tuckey ( $p \leq 0,05\%$ ), utilizando o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

### 2.3 Resultados e discussão

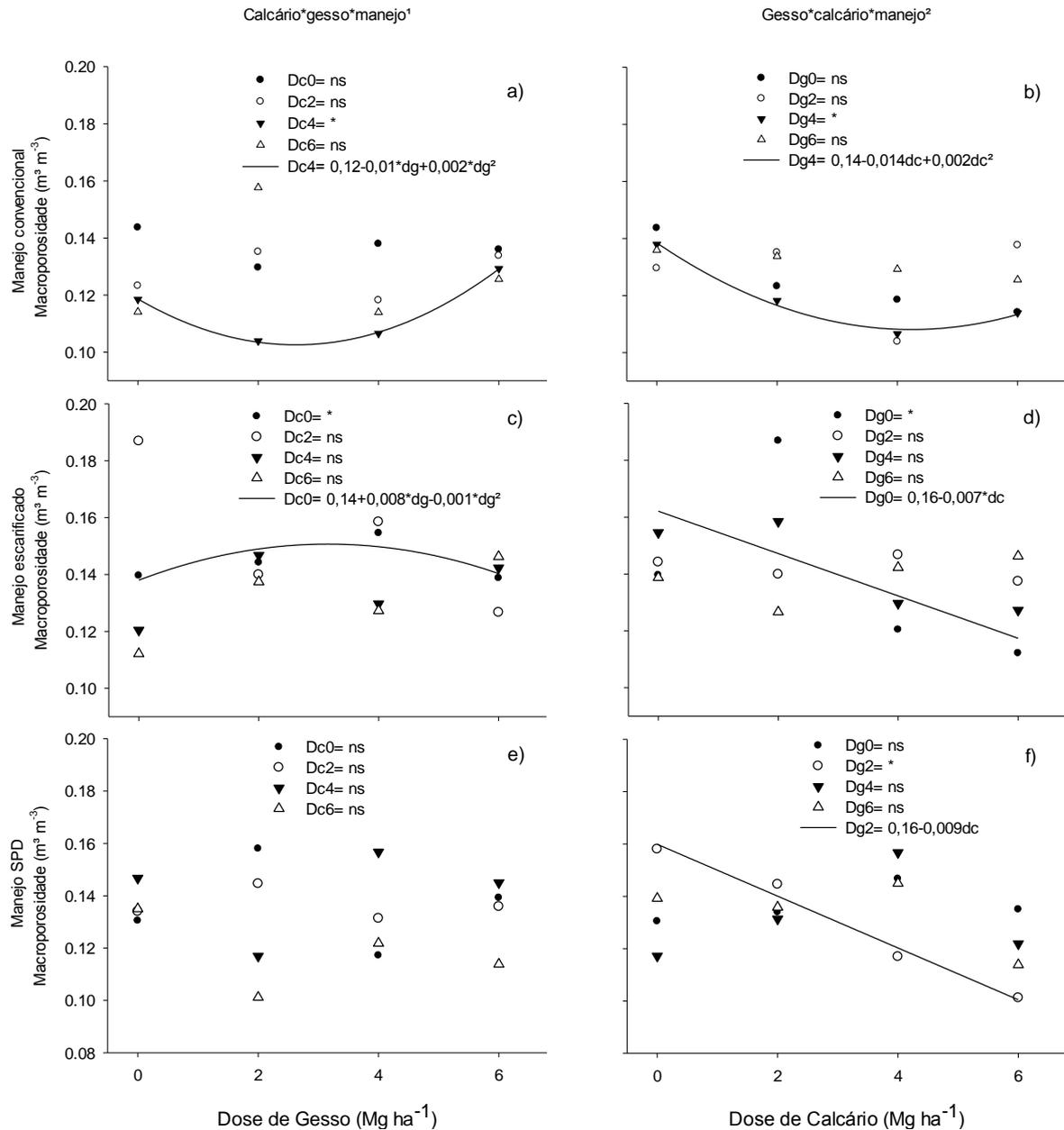
Para as variáveis macroporosidade, porosidade total, densidade do solo e resistência à penetração, houve interação entre o manejo de solo e os tratamentos dose de calcário e dose

de gesso. Para todas as variáveis foi observado efeito em profundidade, sendo que para a resistência à penetração ocorreu interação entre profundidade e manejo de solo.

### 2.3.1 Macroporosidade do solo

Na área submetida à operação de solo convencional, a macroporosidade do solo variou em função dos tratamentos doses de calcário e gesso. No efeito das doses de gesso para o tratamento com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (Dc 4 Mg ha<sup>-1</sup>, figura 1a) ocorreu uma diminuição dos valores de macroporosidade com a aplicação de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. Nas doses de 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso há um aumento dos valores da macroporosidade do solo (Figura 1b). Para o tratamento dose 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, a aplicação de calcário resulta na diminuição dos valores de macroporosidade nas doses 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> e leve aumento com a aplicação de 6 Mg ha<sup>-1</sup>. De acordo com pesquisadores (SILVA et al., 2004; JONG VAN LIER, 2010), para garantir adequado fluxo de troca gasosa, são necessários no mínimo 10 % (0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) de macroporos. Desta forma, todos os tratamentos apresentam quantidade adequada de macroporos.

Para a área de solo escarificada, há interação para os tratamentos testemunha, sem aplicação de insumo. No tratamento dose zero de calcário, o incremento das doses 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso resulta em aumento dos valores de macroporosidade, o que diminuiu na dose de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso (Figura 1c). Enquanto que o tratamento dose zero de gesso apresentou diminuição linear da macroporosidade com a adição das doses de calcário (Figura 1d).



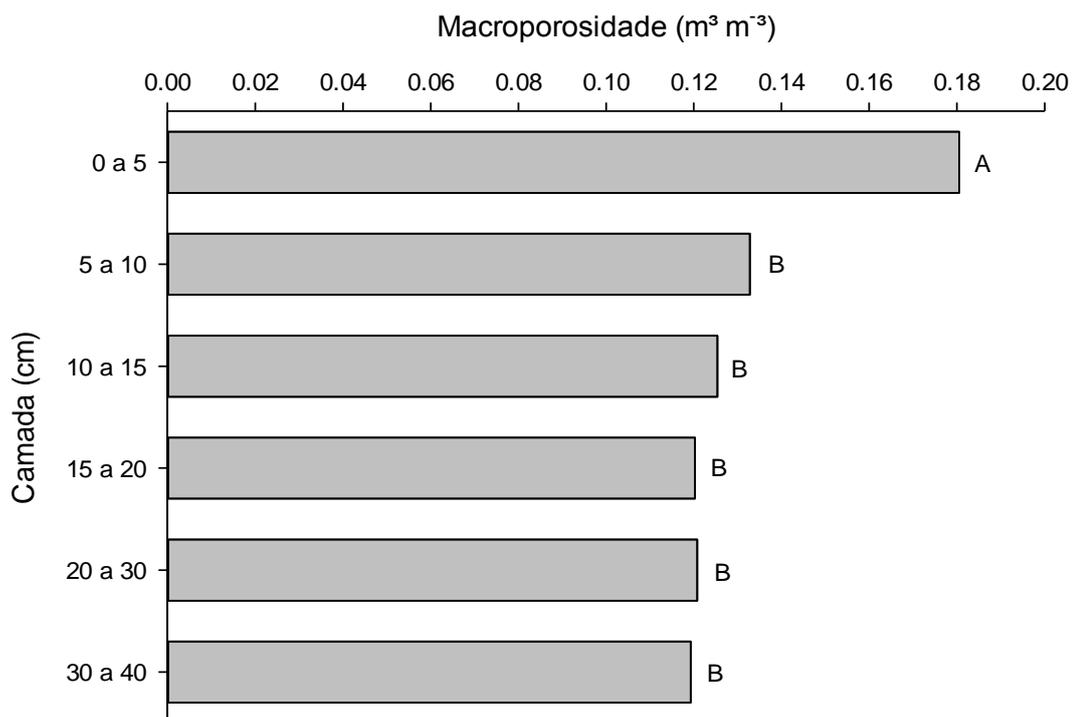
**Figura 1** - Relação da macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) para os três manejos de solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo (SPD)) e os tratamentos (doses de calcário e doses de gesso agrícola).

<sup>1</sup> efeito das doses de gesso agrícola para os tratamentos dose de calcário (Dc0= 0  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário; Dc2= 2  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário; Dc4= 4  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário e Dc6= 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário); <sup>2</sup> efeito das doses de calcário para os tratamentos dose de gesso agrícola (Dg0= 0  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso; Dg2= 2  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso; Dg4= 4  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso e Dg6= 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso); \*significativo a 5%; <sup>ns</sup> não significativo a 5%.

A área cultivada sob SPD contínuo não apresenta interação dos tratamentos doses de calcário e doses de gesso nos valores de macroporosidade do solo. No tratamento com

aplicação de gesso agrícola na dose de  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o incremento de calcário resultou na diminuição linear dos valores de macroporosidade (Figura 1f). Estudos recentes (CASTRO et al., 2011; CASTRO, 2012) apontam que a calagem resulta na melhoria do sistema poroso do solo, com aumentos nos níveis de macroporos, o que não foi verificado neste caso devido a condição inicial do solo com elevada fertilidade e produtividade dos cultivos (BASSO et al., 2011). Porém, para solos com cultivo contínuo e alto teor de matéria orgânica, normalmente ocorre a redução na macroporosidade. No estudo desenvolvido por Castro (2012), o solo apresentava valores de macroporos baixos, necessitando de práticas de manejo que aumentassem a macroporosidade (CALONEGO & ROSOLEM, 2010).

Os maiores valores de macroporos foram verificados na camada de 0 a 5 cm de profundidade (Figura 2).



**Figura 2** – Valores médios de macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para as seis camadas do perfil do solo.

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

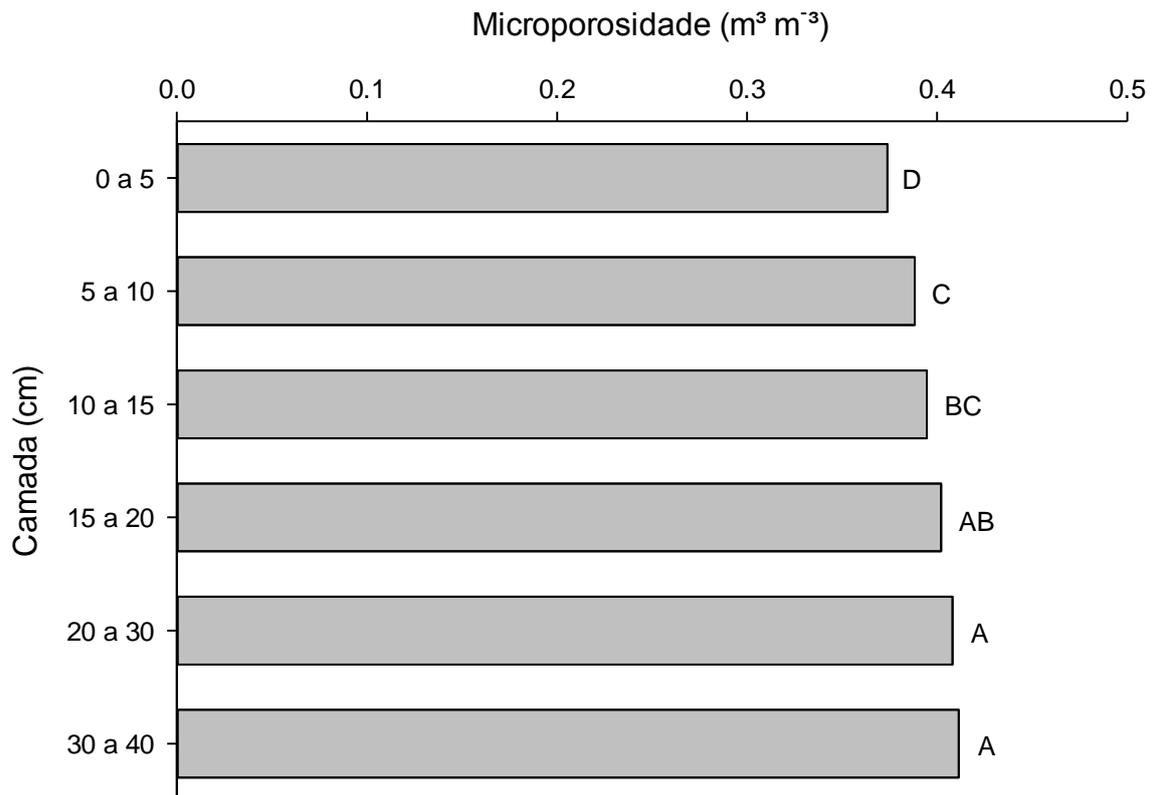
Quando comparamos a camada de 0 a 5 cm com a camada de 5 a 10 cm, verificamos a redução de 30 % dos macroporos. De acordo com Andrade et al, (2009), à medida que se

aumenta a profundidade do perfil do solo têm-se menor volume de raízes, que são responsáveis pelo aumento da aeração e diminuição da densidade do solo.

### 2.3.2 Microporosidade do solo

A microporosidade não foi influenciada pelo manejo de solo e pelas doses de calcário e gesso. Segundo Silva & Kay (1997), os microporos são relativamente menos influenciados pelos manejos de solo do que os macroporos, pois a microporosidade está relacionada com a organização das partículas minerais primárias do solo isoladas e com os microagregados (LAL & SHUKLA, 2005), não sendo alterada com as práticas de manejo utilizadas.

No entanto, houve diferença da microporosidade apenas nas camadas do perfil do solo (Figura 3), onde ocorre aumento nos valores de microporosidade, gradativamente, com o aprofundamento do perfil. Em um Latossolo Vermelho distroférico típico, Silva (2003) constatou que o efeito da escarificação foi superficial, alterando a porosidade na camada de 7 a 10 cm.

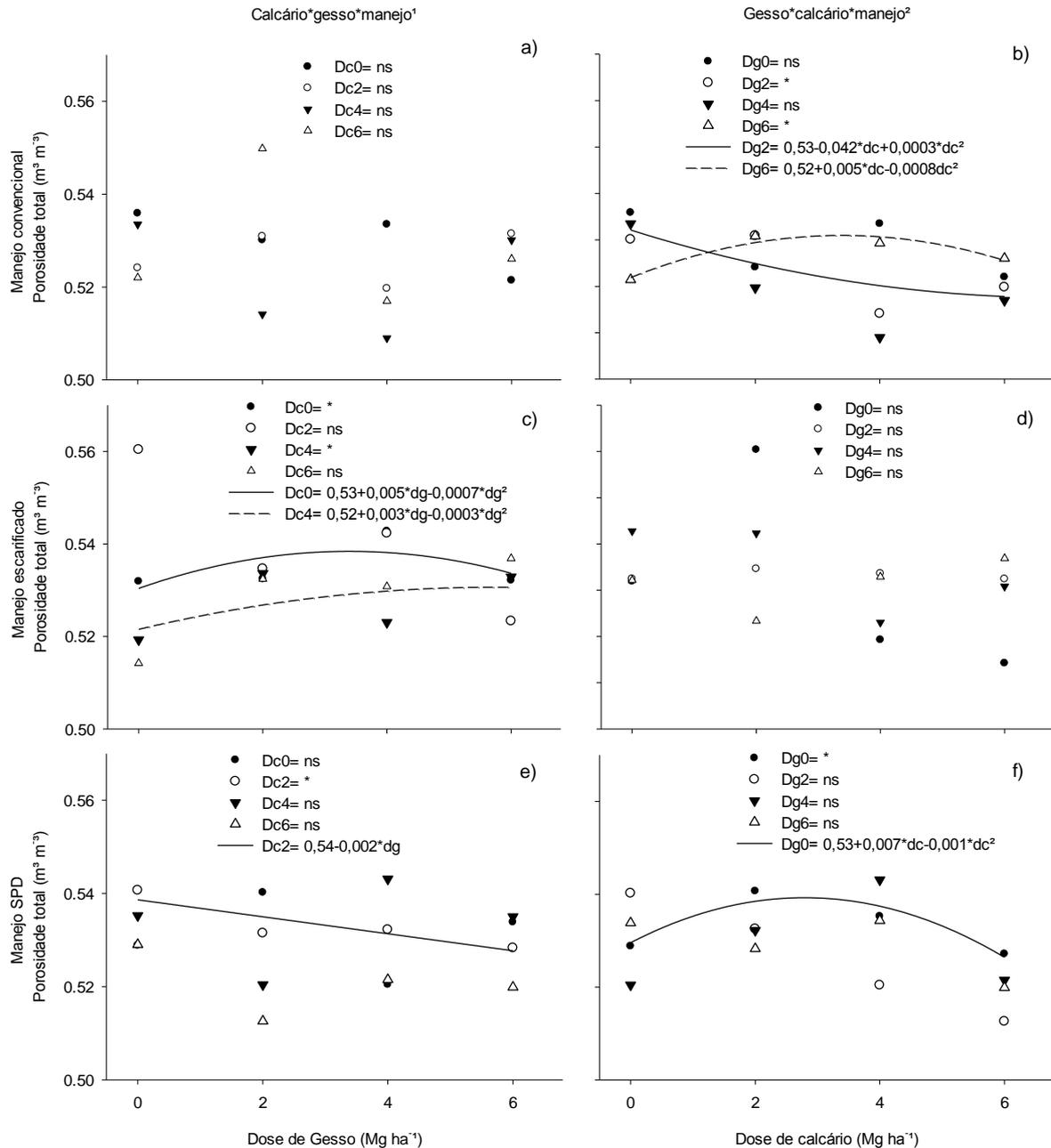


**Figura 3** - Microporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) para as diferentes camadas do perfil do solo.

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

### 2.3.3 Porosidade total do solo

Para a porosidade total no manejo de solo convencional, ocorreu a interação para as doses de calcário nas parcelas com aplicação de 2 e 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso (Figura 4a). Ambos os tratamentos estão representados graficamente por uma linha de tendência polinomial quadrática, sendo que, para o tratamento com aplicação de 2  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso, as adições de 2 e 4  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário reduziram a porosidade total e a aplicação de 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário resultou em leve aumento da porosidade total. Para a dose de 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso, tem-se efeito contrário ao tratamento com dose 2  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso, onde a porosidade total tem acréscimo com a aplicação da menor dose (2  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de calcário e redução com o incremento do insumo (Figura 4b).



**Figura 4** – Relação da porosidade total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) para os três manejos de solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo (SPD)) e os tratamentos (doses de calcário e doses de gesso agrícola).

<sup>1</sup> efeito das doses de gesso agrícola para os tratamentos dose de calcário (Dc0= 0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário; Dc2= 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário; Dc4= 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e Dc6= 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário); <sup>2</sup> efeito das doses de calcário para os tratamentos dose de gesso agrícola (Dg0= 0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso; Dg2= 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso; Dg4= 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso e Dg6= 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso); \*significativo a 5%; ns não significativo a 5%.

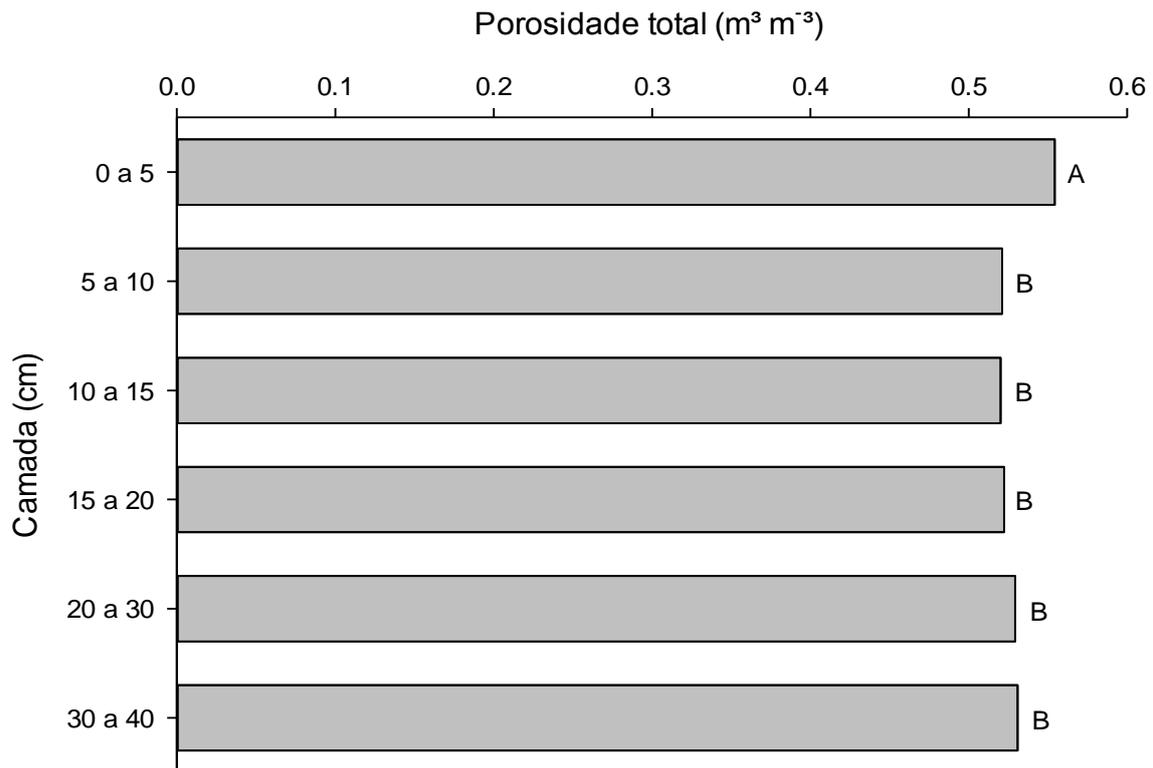
No manejo de solo escarificado houve interação das doses de gesso para os tratamentos 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 4c). A porosidade total teve variação similar

para os dois tratamentos, além de acréscimo da porosidade do solo para as doses iniciais de gesso e redução da porosidade na dose de  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso agrícola.

Para o tratamento com aplicação de  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário em sistema de manejo SPD, tem-se efeito das doses de gesso, sendo que a linha de tendência da porosidade total é representada por uma curva polinomial linear (Figura 4e), que é influenciada negativamente pelo incremento de gesso agrícola. Para a interação de doses de gesso x dose de calcário neste manejo de solo, houve interação para a dose zero de gesso, onde inicialmente a adição de calcário resulta em aumento de porosidade total com diminuição destes valores para as doses mais elevadas de calcário (Figura 4f).

A porosidade total diferiu entre as camadas do perfil estudadas, onde a camada de 0 a 5 cm apresentou maiores valores de porosidade, sendo superior às demais (Figura 5). Estes valores estão de acordo com diversos trabalhos de uso e manejo do solo (REINERT et al., 2008; SOUZA, 2009). A camada superficial apresenta maior espaço poroso devido às operações de preparo do solo (CRUZ et al., 2003) e a maior quantidade de resíduos, que permite à fauna formar poros no solo (LIMA et al., 2005).

As camadas subsuperficiais não diferiram entre si. Para Calonego et al. (2012), isto se deve a um processo natural de acomodação de partículas em subsuperfície, em especial nos sistemas onde houve revolvimento do solo.



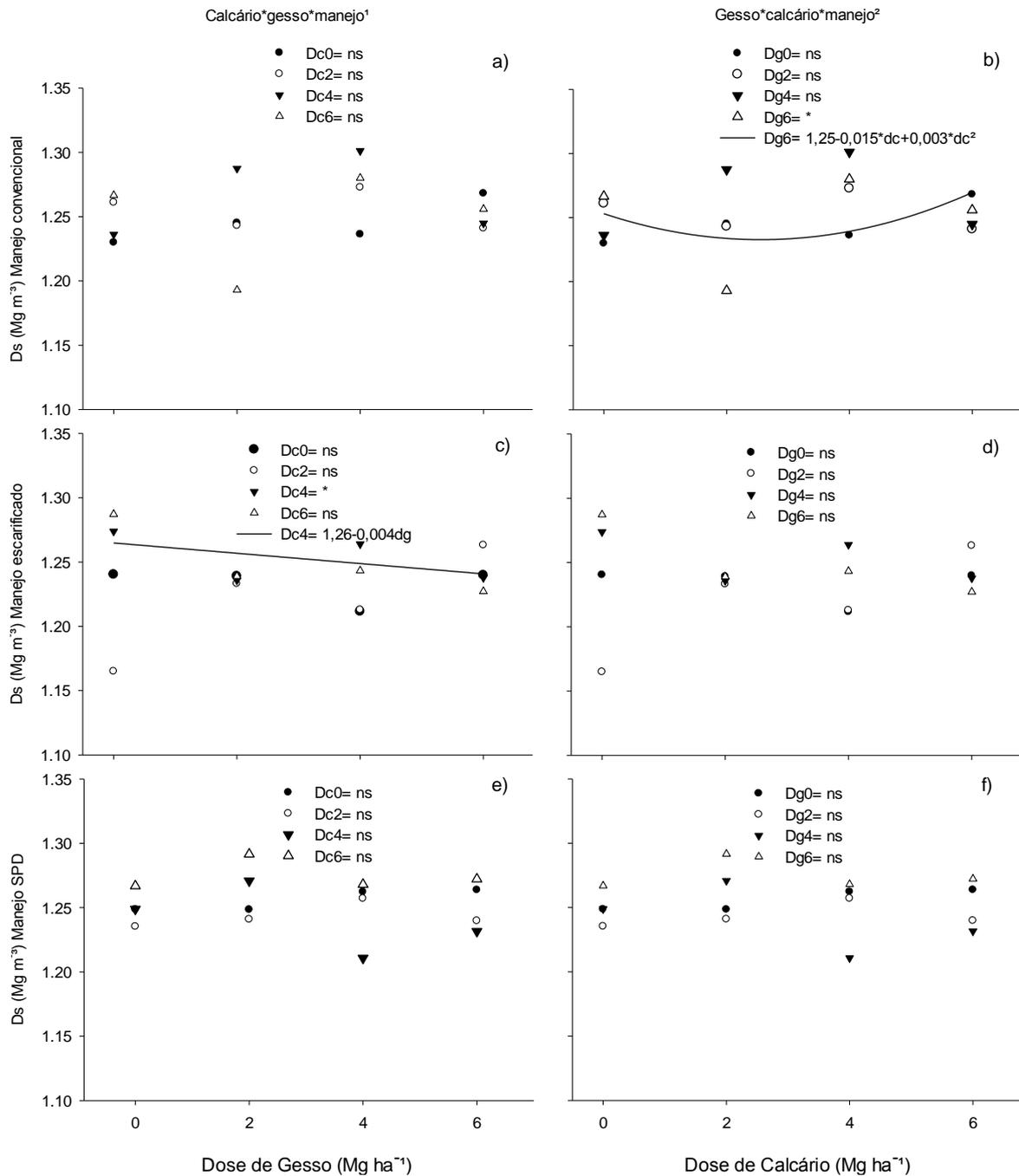
**Figura 5** – Distribuição da porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) para as camadas do perfil do solo.

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Para Kiehl (1979), a distribuição da porosidade total de um solo ideal para a produção agrícola deve ser de  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , sendo a distribuição de percentual de  $1/3$  para macroporos e  $2/3$  para microporos. Os dados de porosidade obtidos estão distribuídos de maneira que se ajustam à classe de solo ideal para produção agrícola.

#### 2.3.4 Densidade do solo

Para a densidade do solo no sistema de manejo convencional, houve interação para os tratamentos dose de calcário na dose de  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso. A dose de  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário promoveu a diminuição da densidade, que teve um acréscimo nas maiores doses. A curva representativa da distribuição dos pontos apresenta tendência polinomial quadrática (Figura 6b).



**Figura 6** – Relação da densidade do solo ( $D_s$ ) ( $Mg\ m^{-3}$ ) para os três manejos de solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo (SPD)) e os tratamentos (doses de calcário e doses de gesso agrícola).

<sup>1</sup> efeito das doses de gesso agrícola para os tratamentos dose de calcário (Dc0= 0  $Mg\ ha^{-1}$  de calcário; Dc2= 2  $Mg\ ha^{-1}$  de calcário; Dc4= 4  $Mg\ ha^{-1}$  de calcário e Dc6= 6  $Mg\ ha^{-1}$  de calcário); <sup>2</sup> efeito das doses de calcário para os tratamentos dose de gesso agrícola (Dg0= 0  $Mg\ ha^{-1}$  de gesso; Dg2= 2  $Mg\ ha^{-1}$  de gesso; Dg4= 4  $Mg\ ha^{-1}$  de gesso e Dg6= 6  $Mg\ ha^{-1}$  de gesso); \*significativo a 5%; ns não significativo a 5%.

Para o manejo escarificado, houve interação das doses de gesso para o tratamento 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, sendo que, as doses de gesso promoveram diminuição linear da densidade do solo. Rosa Júnior et al. (2001) salientam que a redução da densidade do solo pode ser atribuída ao fato de o gesso agir como agregante pelo fornecimento de cátions que atuam na neutralização das cargas negativas.

Na figura 7 pode-se observar que a camada de 0 a 5 cm apresenta a menor densidade do solo, concordando com Spera et al. (2004), os quais afirmam que quanto maior o valor de porosidade total na camada superficial, menor é a densidade do solo. Esta menor densidade da camada superficial foi diagnosticada também por Genro Junior et al. (2004), em Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso, e por Reinert et al. (2008), em trabalho com diferentes plantas de cobertura, que consideram o desenvolvimento radicular das culturas nesta camada como agente determinante desta menor densidade do solo.



**Figura 7** – Densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>) para as camadas do perfil do solo.

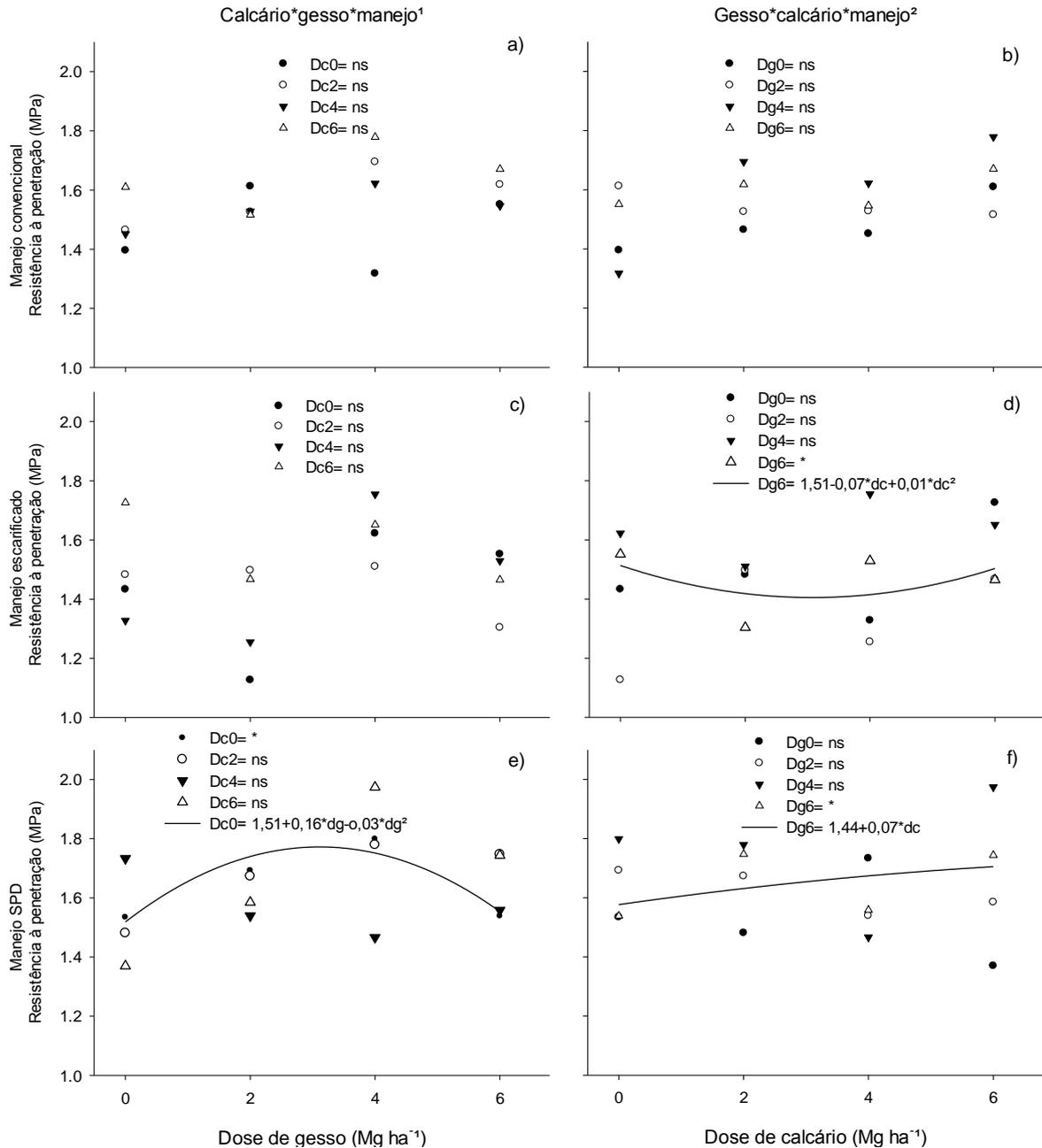
\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Maiores valores de densidade do solo prejudicam o desenvolvimento das plantas pela restrição ao crescimento das raízes (BORGES et al., 1999). Fagundes (2014) verificou que a produção de massa seca de raízes de cana-de-açúcar, em um Latossolo Vermelho com textura franco-arenosa, diminuiu em 50 % a densidade de solo de  $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$  se comparada à densidade de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ . Freddi et al. (2007) também verificaram a diminuição da massa seca de raízes de milho com o aumento da densidade do solo.

No entanto, neste estudo não foi verificada interação na densidade do solo entre os manejos e as camadas do perfil do solo. Resultados semelhantes foram identificados por Camara & Klein (2005) em um Latossolo Vermelho com  $610 \text{ g kg}^{-1}$  de argila a uma profundidade de 20 cm. Tormena et al. (2002) localizaram valores de densidade do solo maiores para o manejo de SPD contínuo na profundidade de 0,10 m, sendo superiores ao manejo convencional. Guedes et al. (2012) encontraram valores de densidade do solo mais elevados nos manejos convencional e SPD contínuo na camada de 0,05 a 0,10 m. Segundo Araujo et al. (2004), as zonas que apresentam maiores valores de densidade do solo estão relacionadas às zonas de compactação causadas pelo efeito cumulativo de tráfego de tratores e equipamentos em áreas não revolvidas, ou seja, quanto maior o estado de compactação do solo, maior será a densidade do mesmo.

### 2.3.5 Resistência à penetração

Os valores de resistência à penetração não diferiram para os tratamentos no sistema de manejo convencional. Contudo, para o sistema de manejo escarificado, houve interação entre o tratamento com aplicação de  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso nas doses de calcário. A curva que representa o comportamento da resistência à penetração inicia com uma tendência negativa para a primeira dose de calcário, tornando-se positiva para as maiores doses, tendo comportamento polinomial quadrático (Figura 8d).



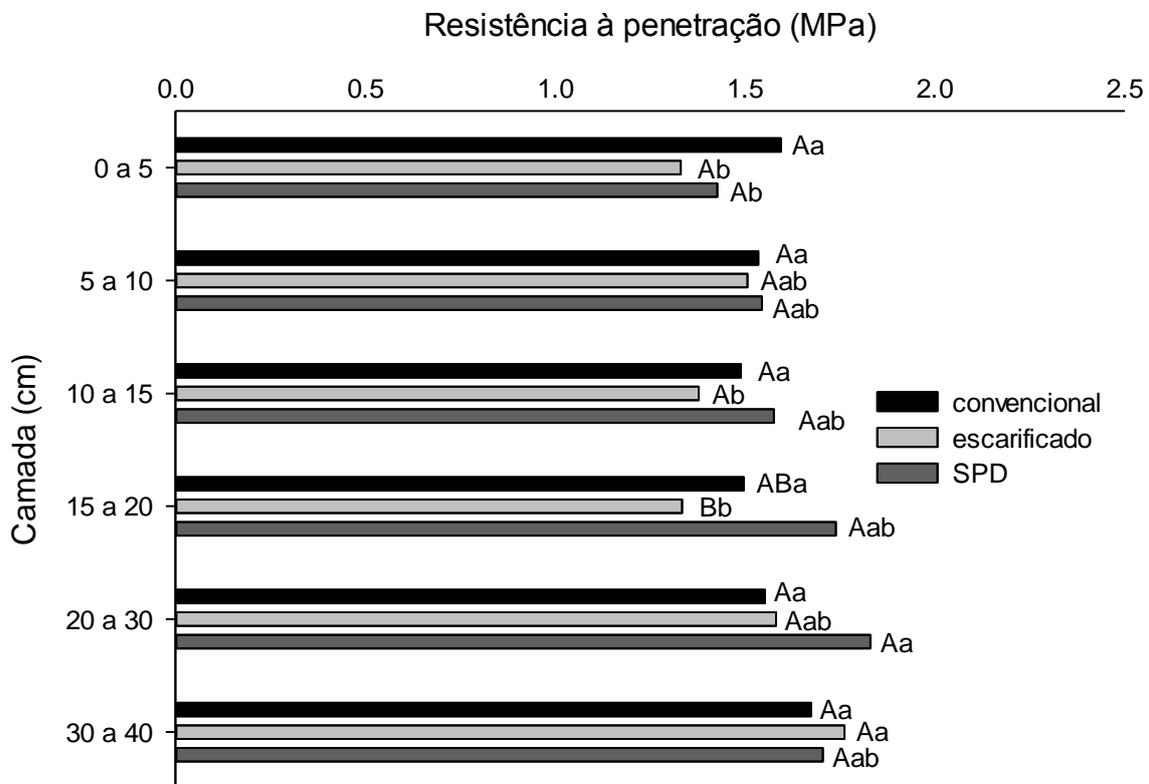
**Figura 8** – Relação da resistência à penetração (MPa) para os três manejos de solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo (SPD)) e os tratamentos (doses de calcário e doses de gesso agrícola).

<sup>1</sup> efeito das doses de gesso agrícola para os tratamentos dose de calcário (Dc0= 0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário; Dc2= 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário; Dc4= 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e Dc6= 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário); <sup>2</sup> efeito das doses de calcário para os tratamentos dose de gesso agrícola (Dg0= 0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso; Dg2= 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso; Dg4= 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso e Dg6= 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso); \*significativo a 5%; ns não significativo a 5%.

No manejo SPD ocorreu interação para os tratamentos na dose zero de calcário, onde as doses iniciais de gesso aumentam a RP, que diminui na dose de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso. Para o

tratamento com aplicação de  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso agrícola, houve efeito das doses de calcário. A reta que representa este efeito é representada por uma reta linear positiva, com aumento nos valores de resistência à penetração para as maiores doses de calcário (Figura 8f).

Houve interação dos valores de resistência à penetração entre as camadas do perfil do solo e os manejos de solo. Nas camadas de 0 a 20 cm de profundidade, o manejo escarificado apresentou os menores valores de resistência à penetração, sendo que na camada de 15 a 20 cm há diferença estatística diferindo este manejo ao manejo SPD, que apresenta os maiores valores para a camada de 5 a 30 cm (Figura 9).



**Figura 9** – Resistência à penetração para as seis camadas do perfil do solo nos três manejos de solo.

\*Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas para manejo e minúsculas para camadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Pesquisas recentes apontam que no SPD contínuo ocorre formação de camada com maior estado de compactação em uma camada de aproximadamente 10 a 20 cm (FRANCHINI et al., 2009; RÓS et al., 2013). A resistência do solo à penetração tem sido

utilizada como ferramenta para avaliar o estado de compactação dos solos. O impedimento que o solo proporciona à penetração da haste é semelhante ao impedimento imposto pelo solo ao desenvolvimento do sistema radicular. Assim, os valores obtidos na resistência à penetração são utilizados como forma de identificar camadas compactadas, uma vez que a inserção da haste no solo é capaz de avaliar a resistência em diferentes profundidades.

O manejo escarificado apresentou os menores valores de resistência à penetração nas camadas de 0 a 5 cm e 10 a 20 cm, diferindo estatisticamente da camada de 30 a 40 cm. No manejo SPD, a camada de 20 a 30 cm apresentou os maiores valores, diferindo da camada de 0 a 5 cm. Segundo Braida et al. (2006), os resíduos mantidos sobre a superfície do solo, condição encontrada no manejo SPD, reduzem os efeitos negativos do tráfego de máquinas, absorvendo parte das pressões exercidas na superfície. Martins et al. (2010) também observaram que no SPD contínuo a camada de 20 a 40 cm de profundidade apresenta maior resistência à penetração quando comparada à camada superficial.

A intervenção mecânica em solo manejado sob SPD consolidado, mediante prática de escarificação, apresenta potencial para mitigar a compactação e promover a melhoria da estrutura do solo, apresentando efeito residual de mais de três anos após a prática de manejo do solo para a resistência do solo à penetração. Contudo, os valores de resistência à penetração ficaram abaixo de 2 MPa, valor considerado como limitante ao desenvolvimento das culturas (TAYLOR et al., 1966).

## 2.4 Conclusões

O acréscimo das doses de calcário resultou na diminuição da macroporosidade do solo para a o manejo escarificado e para o tratamento 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso no sistema de plantio direto contínuo.

O sistema de plantio direto consolidado apresenta boa qualidade física, que o caracteriza como um sistema sustentável.

A escarificação do solo apresenta-se como uma prática eficiente para diminuir a resistência à penetração, na camada de 15 a 20 cm, três anos após a operação.

## 2.5 Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 799-806, 2003.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 411-418, 2009.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337-345, 2004.

BASSO, C. J. et al. Aplicação foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glyphosate. **Ciência Rural**, v.41, n.10, p.1726-1731, 2011.

BODNER, G. et al. Characterization of tillage effects on soil permeability using different measures of macroporosity derived from tension infiltrometry. **Geophysical Research Abstracts**, 2010.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 329-336, 2012.

BORGES, E. N. et al. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho Escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 663-667, 1999.

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 605-614, 2006.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 242-249, 2010.

CALONEGO, J. C. et al. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 128-135, 2012.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v. 58, p. 813-819, 2005.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106)

CASTRO, G. S. A. **Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos**. 2012. 155 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP, Botucatu, 2012.

CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1690-1698, 2011.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 17-27, 2011.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1105-1112, 2003.

FAGUNDES, E. A. A.; SILVA, T. J. A. da; BONFIM-SILVA, E. M. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo submetidas a níveis de compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 2, p. 188-193, 2014.

FRANCHINI, J. C. et al. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009, 39 p. (Embrapa Soja, Documentos, 314).

FREDDI, O. S. et al. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 627-636, 2007.

GARCIA, M. R. L.; MELLO, L. M. M. de.; CASSIOLATO, A. M. R. Variáveis microbiológicas e produtividade do feijoeiro sob diferentes manejos do solo e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 1021-1026, 2004.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 477-484, 2004.

GIRARDELLO, V. C. **Qualidade física de um latossolo sob plantio direto submetido à escarificação de sítio específico e o rendimento da soja**. 2010. 98 f. Dissertação (mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2010.

GUEDES, E. M. S. et al. Impacts of different management systems on the physical quality of an Amazonian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1269-1278, 2012.

HERNANI, L. C. et al. Perdas por erosão e rendimentos de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 667-676, 1997.

HOBBS, P. R. Conservation agriculture: What is it and Why is it important for future sustainable food production? **Journal of Agricultural Science**, v. 145, p. 127-137, 2007.

JONG VAN LIER, Q. de. **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A. et al. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, vol.38, n.2, p. 365-371, 2008.

KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 139-162, 2002.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of soil physics**. Ohio, 2005. 699 p.

LIMA, H. V. et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p. 677-684, 2005.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, p. 141-150, 2000.

MARTINS, C. A. da S. et al. Avaliação da compactação de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 79-83, 2010.

MEDEIROS, J. C. et al. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1657-1665, 2009.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006.

RÓS, A. B.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. de C. Propriedades físicas de solo e crescimento de batata-doce em diferentes sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 242-250, 2013.

ROSA, D. P. et al. Métodos de obtenção da capacidade de suporte de carga de um argissolo cultivado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1561-1568, 2011.

ROSA JÚNIOR, E. J. et al. Gesso e calcário como condicionadores de atributos de um Latossolo sob cultivo de soja-milho. **Cerrados Revista de Ciências Agrárias**, v. 2/4, p. 45-50, 1999/2001.

SANTOS, H. G. dos. et al. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SAS INSTITUTE – Statistical Analysis System. **SAS/STAT User's Guide 8.0**. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 1999. 3365 p.

SILVA, A. P. da; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 451-456, 2004.

SILVA, A. P. da.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 877-883, 1997.

SILVA, V. R. da. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 192 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Santa Maria, 2003.

SOMAVILLA, L. **Gesso agrícola e/ou intervenção mecânica nas melhorias do gradiente de cátions no perfil do solo e nos cultivos de soja e milho em sistema de plantio direto consolidado.** 2014. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura e Ambiente) Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2014.

SOUZA, F. R. **Efeito do manejo do solo e do gesso residual na cultura da soja e em atributos físicos de um Latossolo vermelho distrférico.** 2009. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2009.

SPERA, S. T. et al. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 522-542, 2004.

TAYLOR, H.M. et al. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966.

TOLON-BECERRA, A. et al. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 184-190, 2011.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em um Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 795-801, 2002.

VAN GROENIGEN, K. J. et al. Abundance, production and stabilization of microbial biomass under conventional and reduced tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 48-55, 2010.

VASCONCELOS, R. F. B. et al. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 309-316, 2010.

ZANG, B. et al. Effects of long-term and recently imposed tillage on the concentration and composition of amino sugars in a clay loam soil in Ontario, Canada. **Soil and Tillage Research**, v. 135, p. 9-17, 2014.

### **3. ARTIGO 2: EFEITO DA CALAGEM E GESSAGEM EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO NA AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO**

#### **RESUMO**

Dentre os parâmetros de avaliação do estado da qualidade física do solo destaca-se a agregação. Além das práticas de manejo e preparo do solo, a calagem e gessagem apresentam capacidade de modificá-la, seja pela alteração mecânica, causada pelas máquinas na operação de incorporação, ou pelas reações causadas pelos elementos químicos. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo diagnosticar o efeito da calagem e gessagem na agregação em diferentes manejos de solo. Em junho de 2009, foi instalado o experimento, com delineamento experimental de blocos com parcelas subdivididas. Nas parcelas alocaram-se as práticas de manejo do solo (convencional; escarificado e sistema de plantio direto), nas subparcelas as doses de calcário (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e nas subsubparcelas as doses de gesso agrícola (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>). A área foi cultivada com culturas anuais e três anos depois foi realizada a coleta das amostras em blocos de estrutura preservada, que foram desfragmentados nas suas fissuras naturais em agregados com diâmetro de 8,00 a 4,76 mm. Foram determinados os parâmetros de agregação, diâmetro médio ponderado e o diâmetro médio geométrico. A agregação do solo foi influenciada pelas práticas de manejo e doses de calcário e gesso. A aplicação de calcário diminuiu os índices de agregação, enquanto que o gesso agrícola proporcionou aumentos na agregação. O gesso agrícola apresenta resultados até a profundidade de 15 cm.

**Palavras chave:** Calcário. Gesso agrícola. Estabilidade de agregados.

**EFFECT OF LIMESTONE AND PHOSPHOGYPSUM IN DIFFERENT SYSTEMS ON SOIL PREPARATION OF AN AGGREGATION LATOSOL**

## ABSTRACT

Among the parameters to assess the state of soil physical quality stands out aggregation. In addition to the management practices and tillage, liming and gypsum have ability to change it, either by mechanical caused by machinery or by reactions caused by chemicals. Thus, this study aims to diagnose the effect of lime and gypsum as aggregate in different soil management. In June 2009, the experiment was carried out with randomized block design with split plot, the plots allocated up the practices of soil management (conventional, chisel plow and tillage system continuous), subplots lime rates (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) and the subsubplots doses of gypsum (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>), the area was planted with annual crops and three years later the collection of samples was performed in blocks of preserved structure, that were defragmented in their natural cracks in aggregates with diameter 8,00 a 4,76 mm. It was determined the aggregate weighted mean diameter and geometric mean diameter. The aggregation of the soil was influenced by management practices and lime and plaster. Liming reduces the indices of aggregation, while the gypsum provided increases in aggregation. The gypsum presents results until the depth of 15 cm.

**Keywords:** Limestone. Gypsum. Aggregate stability.

### 3.1 Introdução

A estabilidade de agregação dos solos é um importante indicador do estado da qualidade física do solo. Esta propriedade é sensível às práticas de uso e manejo do solo, que resultam em ruptura dos agregados e diminuição da estrutura do solo. Práticas de manejo conservacionistas, que visam a adição de restos culturais na superfície do solo, propiciam melhoria do sistema.

O Sistema de Plantio Direto (SPD) se caracteriza pela rotação de culturas e não incorporação dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo. A manutenção de resíduos culturais na superfície melhora o estado de agregação do solo com o incremento do teor de carbono orgânico (CASTRO FILHO et al., 1998), onde a infiltração de água no solo é facilitada pela presença de agregados maiores e com menor densidade.

A adição de restos culturais e material orgânico proporciona melhoria na agregação do solo (REINERT et al., 1984; CAMPOS et al., 1995; BEUTLER et al., 2001; LACERDA et al., 2005; FERNÁNDEZ et al., 2010). Assis e Lanças (2010) verificaram que o SPD proporciona melhoria nos agregados maiores, enquanto que o preparo convencional do solo apresenta maior percentual de agregados menores que 1 mm. Tripathi et al. (2014), adicionando dejetos de bovinos por período de 41 anos, constataram aumentos nos teores de carbono, o que resultou em melhoria na estrutura do solo em diferentes frações (micro e macroagregados).

A menor mobilização do solo preserva a sua estrutura, visto que o preparo intensivo diminui o diâmetro médio geométrico dos agregados. Contudo, para adequar o solo, deixando-o em condições ideais para o desenvolvimento das culturas, muitas vezes há demanda de operações mecanizadas, como a escarificação e a aração do solo. Quanto menor o número de operações mecanizadas para a exploração agrícola, maiores serão os benefícios à sustentabilidade ambiental e mais econômicas serão essas operações (LEVIEN et al., 2003).

A calagem é outra prática de manejo que, além de afetar o condicionamento físico do solo, pode causar a dispersão química dos agregados, devido ao surgimento de cargas negativas decorrentes da reação do calcário no solo (BUTIERRES 1980; ALBUQUERQUE et al., 2003). Para Gancedo (2006), o grau de floculação é reduzido em decorrência da dispersão nos agregados do solo à medida que se aumentam as doses de calcário.

Na calagem também é fornecido  $\text{Ca}^{2+}$ , que age como ligante entre partículas de argila, permitindo maior agregação do solo (OLIVEIRA, 2008). A predominância do íon  $\text{Ca}^{2+}$  no complexo de troca, além de promover floculação das argilas, contribui para intensa atividade biológica, que também favorece a formação de agregados. Por outro lado, com o predomínio de sódio ou potássio no complexo de troca, ocorre dispersão excessiva dos colóides e perda da estabilidade dos agregados (FASSBENDER, 1986). Corrêa et al. (2009) constataram aumento na agregação do solo com a calagem, principalmente na camada superficial.

O efeito da calagem em sistema de plantio direto é restrito ao local de aplicação e dificilmente ocorre em maiores profundidades pelo fato da reação de neutralização não deixar ânions livres, que poderiam se movimentar com o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , atingindo camadas mais profundas por efeitos indiretos (YAMADA & ABDALLA, 2007).

O gesso agrícola não altera o pH, assim, não aumenta a capacidade de troca de cátions. Desta forma, se torna uma opção de uso como condicionador de solo, podendo promover a reagregação de parte das argilas dispersas em água (ROSA JUNIOR et al., 1994). Borges et al. (1997) observaram que doses elevadas de gesso (6,5 e 9,75 Mg ha<sup>-1</sup>) promoveram efeito

floculante no solo. Para Rosa Junior et al. (2006), o uso de gesso agrícola reduziu os valores de argila dispersa em água, sendo que os menores valores foram obtidos para a dose de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso.

A matéria orgânica controla o comportamento do gesso no solo já que, devido a sua elevada capacidade de troca de cátions e ser fortemente eletronegativa, cria um ambiente de repulsão do ânion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Desta forma, ele é menos retido na camada superficial e lixiviado para camadas mais profundas do perfil (YAMADA & ABDALLA, 2007).

Para testar a hipótese de que a aplicação de doses elevadas de Ca, via calcário e gesso agrícola, alteram a agregação do solo, foi realizada a análise dos parâmetros de agregação em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho. O presente estudo tem por objetivo diagnosticar o efeito da calagem e da gessagem nos agregados em camadas do perfil de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos de solo.

### 3.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006) do município de Boa Vista das Missões, Rio Grande do Sul. O clima da região, segundo a classificação de Maluf (2000), é subtropical com primavera úmida (ST PU), com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1919 mm ano<sup>-1</sup>.

A área do experimento vinha sendo cultivada há mais de uma década sob sistema de plantio direto. Em julho de 2009, foi instalado o experimento, cujo delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais (20 x 20 m), alocaram-se as práticas de manejo de solo: i) sistema de plantio direto + aração (convencional) (1 aração a 40 cm de profundidade + 2 gradagens); ii) sistema de plantio direto + escarificação (escarificado) (escarificação até 30 cm de profundidade); iii) sistema de plantio direto contínuo. As subparcelas (20 x 5 m) receberam os tratamentos que constaram nas combinações de doses de calcário (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e nas subsubparcelas (5 x 5 m) doses de gesso (0, 2, 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>). Para os tratamentos com revolvimento do solo, a aplicação de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário foi realizada de maneira fracionada, com a aplicação de 50% da dose antes do revolvimento do solo e o restante depois da operação de manejo. O gesso foi aplicado na superfície do solo após as operações de manejo de solo e semeadura da aveia preta, sem incorporação mecânica. As culturas implantadas na área foram: aveia preta –

soja – trigo – milho – aveia preta – soja e, no cultivo de inverno de 2012, a área permaneceu em pousio para coleta das amostras.

Para a determinação da estabilidade dos agregados em água, utilizou-se a metodologia descrita por Kemper e Chepil (1965), com o uso de aparelho de oscilação descrito por Yoder (1936).

Amostras de solo em blocos indeformados foram coletadas em seis profundidades do perfil do solo, 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 e 30-40 cm. No laboratório, as amostras de solo foram desfragmentadas manualmente, com auxílio de peneiras, sendo reduzidas a agregados com tamanho entre 8,00 e 4,76 milímetros. Estes foram secos à sombra e em temperatura ambiente. Foram pesadas em cada amostra três repetições de 25 g de agregados, sendo uma delas utilizada para a determinação da umidade da amostra e as outras duas foram distribuídas sobre o jogo de peneiras, contendo peneiras com malha de 4,76; 2,0; 1,0 e 0,212 mm, permanecendo por 10 minutos em contato com a lâmina de água, umedecendo por tamisamento. Após o umedecimento, as amostras foram submetidas à oscilação vertical constante durante 10 minutos, com trinta oscilações por minuto e a 4 cm de imersão por oscilação.

O material retido em cada peneira foi coletado em latas, utilizando-se jato dirigido de água, sendo o solo seco em estufa a 105 °C por 24 horas. Foi realizada a pesagem da amostra retirada da estufa e determinada a massa de partículas minerais individuais, mergulhando as amostras em solução dispersante (NaOH M), sendo então lavadas com água na peneira de mesma malha. Após a lavagem, o material foi posto novamente nas latas e alocado em estufa a 105 °C para determinação da massa seca.

Os cálculos dos índices de agregação, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) foram determinados pelas equações 1 e 2, respectivamente:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot x_i) \quad (1)$$

em que: DMP = diâmetro médio ponderado (mm);  $y_i$  = diâmetro médio entre classes (mm);  $x_i$  = proporção de cada classe em relação ao peso da amostra total;

$$DMG = EXP \frac{\sum_{i=1}^N y_i \log x_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad (2)$$

onde: DMG = diâmetro médio geométrico (mm);  $y_p$  = peso dos agregados de cada classe (g);  $y_i$  = diâmetro médio entre classes (mm);  $x_i$  = proporção de cada classe em relação ao peso da amostra total.

Amostras de solos deformadas (desestruturadas manualmente em cadinhos de cerâmica) foram utilizadas para a determinação do carbono orgânico total, realizado através do método de Mebius adaptado para uso em bloco de digestão como descrito por Yeomans e Bremner (1988). Em resumo, as amostras de terra fina secas ao ar, de 0,20 a 0,50 g, foram alojadas em tubos de vidro de 2,5 cm de diâmetro e 25,0 cm de altura. Foi adicionada solução oxidante composta de 10 mL de  $K_2Cr_2O_7$   $0,067 \text{ mol L}^{-1}$  e, posteriormente, 15 mL de  $H_2SO_4$  concentrado, acrescido lentamente pela parede dos tubos alojados em capela de exaustão. Os tubos foram postos em bloco de digestão e em cada bateria de 40 amostras utilizaram-se 4 provas em branco. Os tubos foram colocados no bloco, pré-aquecido a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 30 minutos. O conteúdo foi transferido para *erlenmeyer*, juntamente com 80 mL de água destilada. As amostras foram então tituladas com sulfato ferroso amoniacal  $[Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$   $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ , na presença de cinco gotas do indicador ferroína (O-fenantrolina), até a virada de cor verde para a cor violeta. Os valores de Carbono Orgânico Total (COT) foram determinados pela equação:

$$COT \text{ (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{mL SFA}_{\text{branco}} - \text{mL SFA}_{\text{amostra}}) * \text{MOL do SFA} * 12,01}{3 * MS_a * 1,14} \quad (3)$$

sendo: COT ( $\text{g kg}^{-1}$ ) = Carbono Orgânico Total;  $\text{mL SFA}_{\text{branco}}$  = mL de Sulfato Ferroso Amoniacal gastos para titular a amostra em branco;  $\text{mL SFA}_{\text{amostra}}$  = mL de Sulfato Ferroso Amoniacal gastos para titular a amostra com solo; MOL do SFA = molaridade do sulfato ferroso amoniacal (0,1) e  $MS_a$  = massa de solo da amostra em g.

Os valores dos DMG e DMP foram submetidos à ANOVA e o cálculo das médias foi realizado com o teste de Tukey a 5% de erro.

### 3.3 Resultados e Discussão

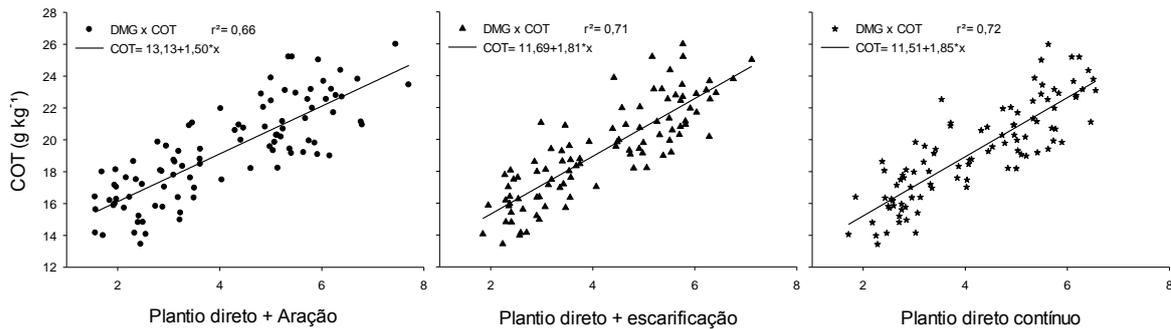
O manejo de solo e as práticas culturais alteram a estruturação dos agregados (MENTLER et al., 2004; KASPER et al., 2009). Esta diferença nos níveis de agregação pode ser justificada devido ao manejo da cobertura vegetal que é incorporado ao solo nas operações de revolvimento (CHOUDHURY et al., 2014; DAS, et al., 2014) ou através da ação mecânica dos implementos no manejo (BLANCO-CANQUI & LAL, 2005).

Assim, será apresentada a importância do Carbono Orgânico Total (COT) na agregação dos solos nos três manejos realizados, seguida da análise dos parâmetros de agregação do solo (DMG e DMP) nas diferentes combinações de doses de calcário e gesso, em diferentes camadas do perfil do solo.

#### 3.3.1 Carbono Orgânico Total

Verificou-se correlação positiva entre o teor de carbono total do solo e os agregados estáveis para os três manejos (Figura 1). Este resultado demonstra a importante função da matéria orgânica na manutenção da estrutura do solo (CONCEIÇÃO, 2006; BOENI, 2007; SALTON et al., 2008; KASPER et al., 2009; SOUZA, 2010; JHA et al., 2012; ABDOLLAHI, et al., 2014), demonstrando que variações no conteúdo de C no solo desempenha papel importante em estudos de agregados, devido a maior ou menor proteção da matéria orgânica.

Os sistemas de cultivo conservacionistas, em especial o sistema de plantio direto, são considerados práticas agrícolas eficientes para sequestro de C e melhoria da sustentabilidade do ambiente (BAYER et al., 2006).

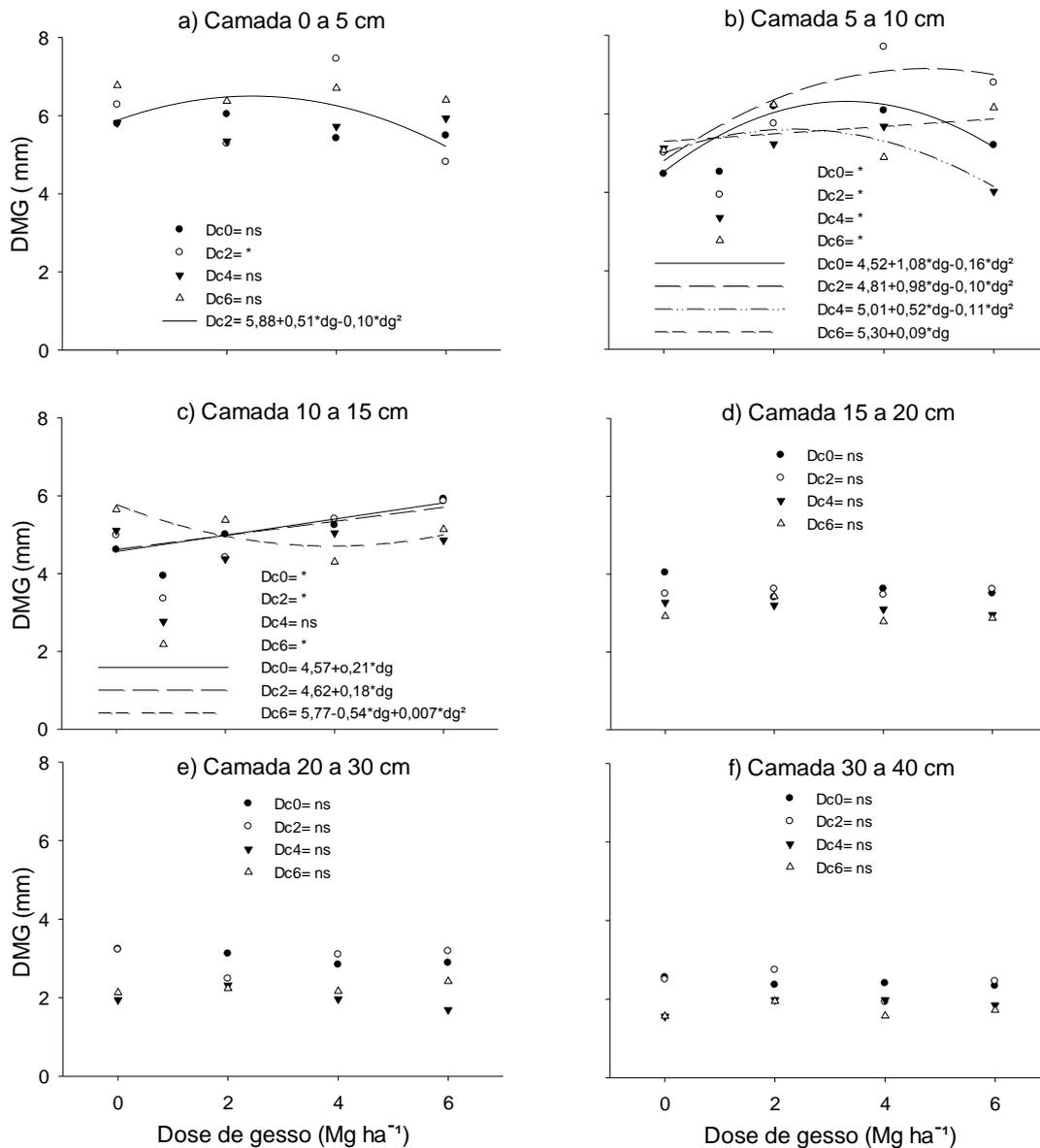


**Figura 10** – Correlação entre o Carbono Orgânico Total (COT) e o diâmetro médio geométrico (DMG) para os três manejos de solo.

Em solos de clima temperado, o aumento dos níveis de carbono orgânico do solo no SPD comparado ao preparo convencional tem sido observado concomitantemente com a melhoria da agregação do solo (JIAO et al., 2006). As diferenças nos estoques de carbono sob plantio direto e cultivo convencional em dois Latossolos de Passo Fundo (RS) e Londrina (PR) ficaram restritas principalmente à camada de 0 a 5 cm do solo (DENEFF et al., 2007). Esse maior teor de carbono na camada superficial se deve ao maior acúmulo de material orgânico das culturas (restos culturais).

### 3.3.2 Sistema de plantio direto + aração (Convencional)

Na área cultivada sob sistema de plantio direto + aração ocorreu interação significativa para o DMG entre as camadas do solo e os tratamentos (dose de calcário x dose de gesso x profundidade). Para a camada de 0 a 5 cm, ocorreu interação para a dose de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 2a), onde, para as menores doses de gesso, apresenta maior agregação do solo, que tende a diminuir com o aumento das doses de gesso. A curva representativa do comportamento da agregação do solo para este tratamento apresenta-se na forma de uma equação tipo quadrática.



**Figura 2** – Diâmetro Médio Geométrico (DMG) nos tratamentos dose de calcário (Dc) em diferentes doses de gesso nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto com uma aração.

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; Dc0= Dose de calcário  $0\ Mg\ ha^{-1}$ ; Dc2= Dose de calcário  $2\ Mg\ ha^{-1}$ ; Dc4= Dose de calcário  $4\ Mg\ ha^{-1}$ ; Dc6= Dose de calcário  $6\ Mg\ ha^{-1}$ ;

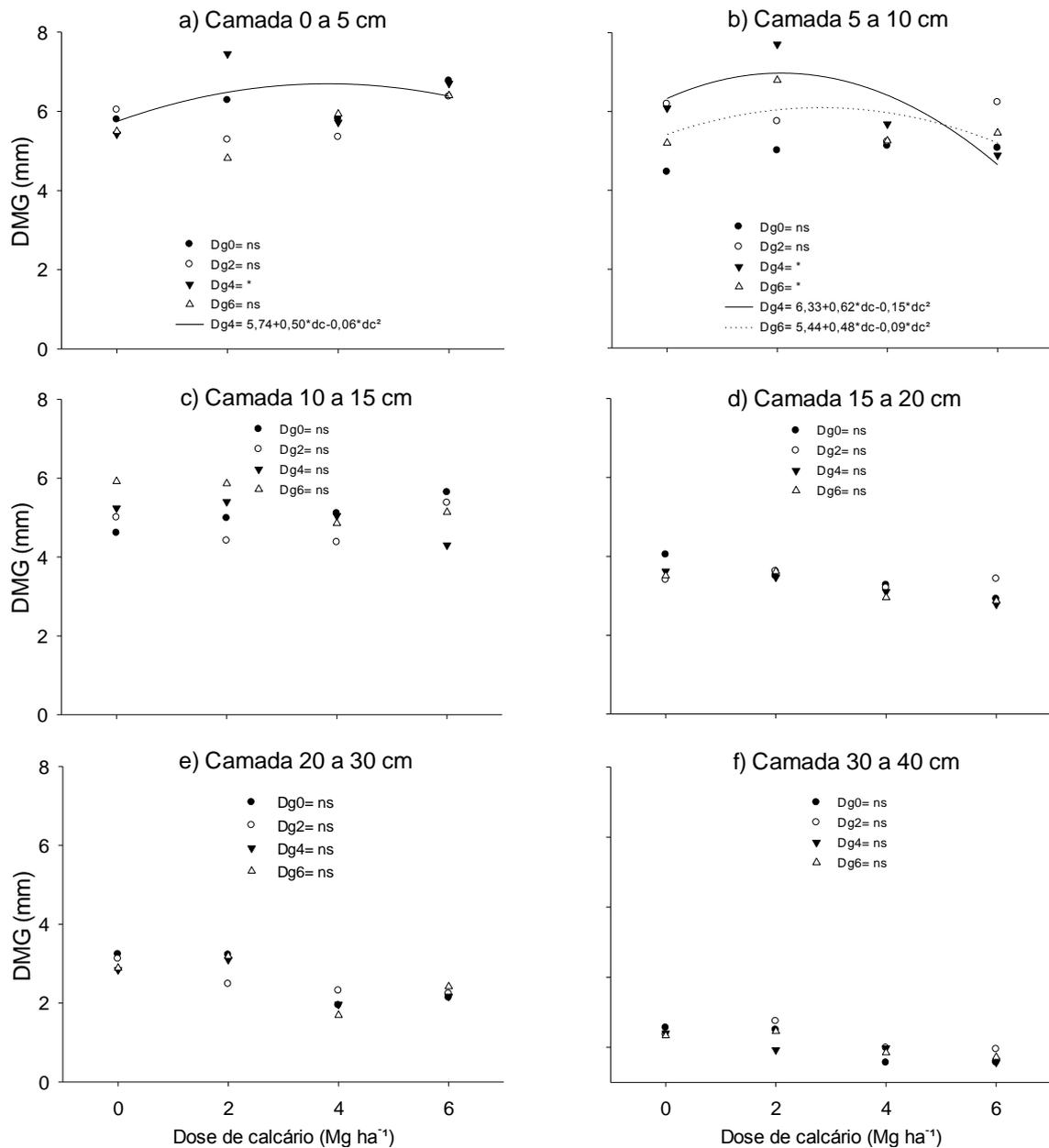
Para a camada de 5 a 10 cm, houve interação para todas as doses de calcário (Figura 2b). Com comportamento semelhante, as doses  $0, 2$  e  $4\ Mg\ ha^{-1}$  de calcário apresentam valores de agregação crescentes até a combinação com a dose  $4\ Mg\ ha^{-1}$  de gesso, diminuindo a agregação quando combinada a dose de  $6\ Mg\ ha^{-1}$  de gesso, ambas

representadas por uma curva polinomial quadrática. Já a agregação no tratamento dose 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário apresenta crescimento linear com as combinações de dose de gesso. Gancedo (2006), que verificou interação para doses de calcário e gesso agrícola, onde, na dose 0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, o gesso apresentou elevação nos índices de agregação para as menores doses de gesso, tendendo a diminuir a agregação nas doses mais elevadas.

Na camada do solo de 10 a 15 cm (Figura 2c), os tratamentos 0 e 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário apresentam crescimento linear com as combinações de doses de gesso, enquanto que no tratamento 6 Mg ha<sup>-1</sup> a agregação do solo diminui com a combinação das doses 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso, tendo um acréscimo na agregação quando da combinação das doses 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e gesso.

Nas camadas 15 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm (Figura 2d, 2e e 2f), não ocorreu efeito para as doses de calcário combinadas com as doses de gesso.

Para a combinação dos tratamentos (dose de gesso x dose de calcário x profundidade), o efeito foi verificado nas duas camadas superficiais. Na camada de 0 a 5 cm (Figura 3a), houve interação para a dose 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso, em que a agregação do solo aumentou quando este tratamento foi combinado com 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, tendendo a diminuir com as doses seguintes (Figura 3a). Comportamento semelhante foi observado na camada de 5 a 10 cm (Figura 3b), onde os tratamentos 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso apresentam aumento na agregação com a dose de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e diminuem com as respectivas doses seguintes. Para as demais camadas, não houve efeito dos tratamentos na agregação do solo. Assim, é possível verificar o efeito do calcário de diminuir a agregação do solo, resultado que também foi observado por Gancedo (2006) estudando o efeito da calagem na agregação dos solos.

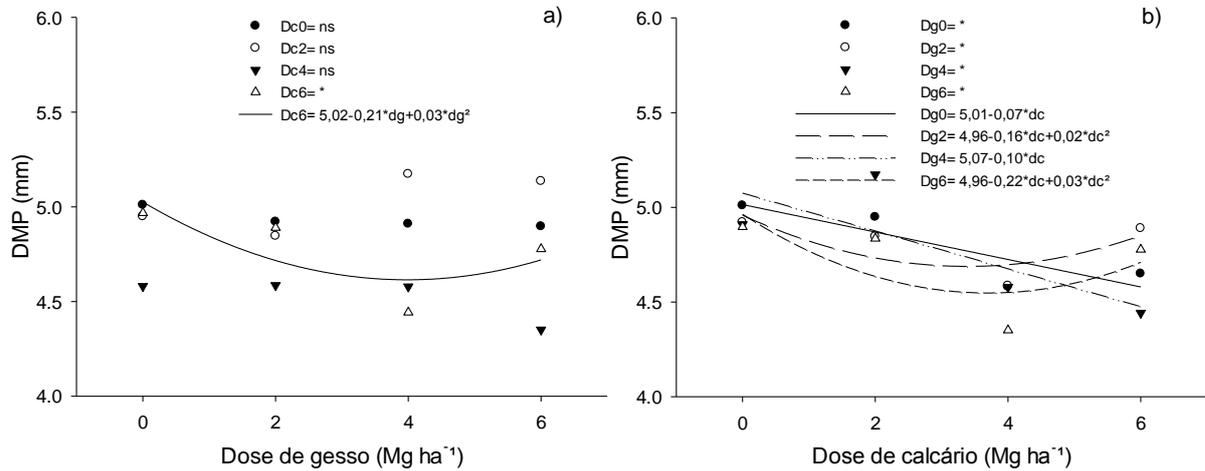


**Figura 3** – Diâmetro Médio Geométrico (DMG) nos tratamentos dose de gesso (Dg) em diferentes doses de calcário nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto com uma aração.

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; Dg0= Dose de gesso 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg2= Dose de gesso 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg4= Dose de gesso 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg6= Dose de gesso 6 Mg ha<sup>-1</sup>;

O Diâmetro Médio Ponderado (DMP) do sistema plantio direto + aração apresentou interação entre os tratamentos dose de calcário e dose de gesso. O tratamento dose 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário apresenta diminuição da agregação quando combinado às doses de 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup>

de gesso e aumento quando o tratamento é a combinação de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e gesso (Figura 4a).



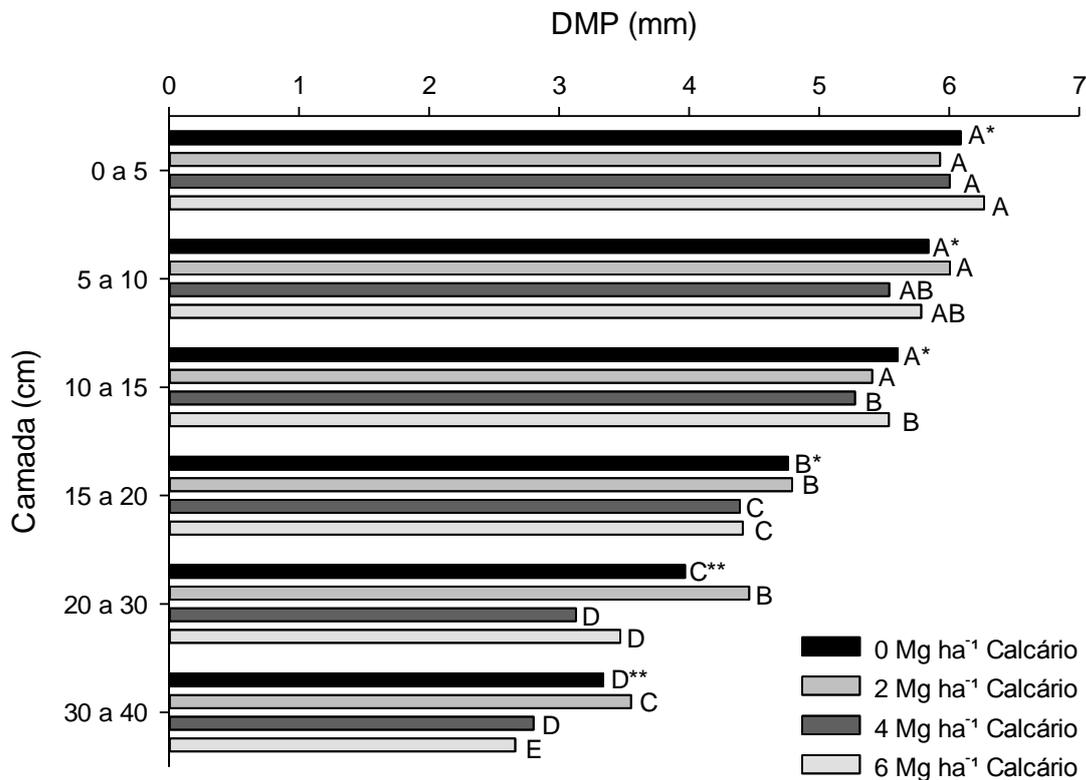
**Figura 4** - Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para a interação entre os tratamentos dose de calcário e dose de gesso no manejo sistema de plantio direto + aração.

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; %; Dc0= Dose de calcário 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc2= Dose de calcário 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc4= Dose de calcário 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc6= Dose de calcário 6 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg0= Dose de gesso 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg2= Dose de gesso 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg4= Dose de gesso 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg6= Dose de gesso 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

Os tratamentos dose de gesso foram influenciados pela combinação com doses de calcário (Figura 4b). O tratamento dose 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso apresentam efeito linear decrescente de DMP para as doses de calcário, enquanto que os tratamentos dose 2 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso demonstram diminuição do DMP para as doses 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, com aumento na agregação na combinação do tratamento 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso e calcário. Nota-se que o calcário expressa sua característica de desagregação do solo para os tratamentos dose 0, 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup>, contudo, no tratamento que combina as doses 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e gesso, ocorrem aumentos significativos da agregação.

Considerando que metade da dose de calcário foi incorporada e os outros 50% foram aplicados em superfície, pode-se considerar que este calcário aplicado na superfície se movimentou até a profundidade de 15 cm. Seu efeito de forma isolada afetou negativamente na agregação do solo. O que chama a atenção nestes dados é a interação entre as doses 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e gesso, que apresentam potencial para aumentar os níveis de agregação.

Ocorreu interação para o tratamento dose de calcário e as camadas do perfil do solo, onde há diminuição do DMP com o aprofundamento das camadas (Figura 5). Amaral et al. (2004), em colunas de PVC com aplicação superficial de calcário em um Cambissolo Húmico aluminico léptico argiloso, constataram que houve movimentação das partículas de calcário em sete dias, onde os efeitos nos atributos químicos do solo foram mais expressivos na camada de 10 a 20 cm de profundidade.

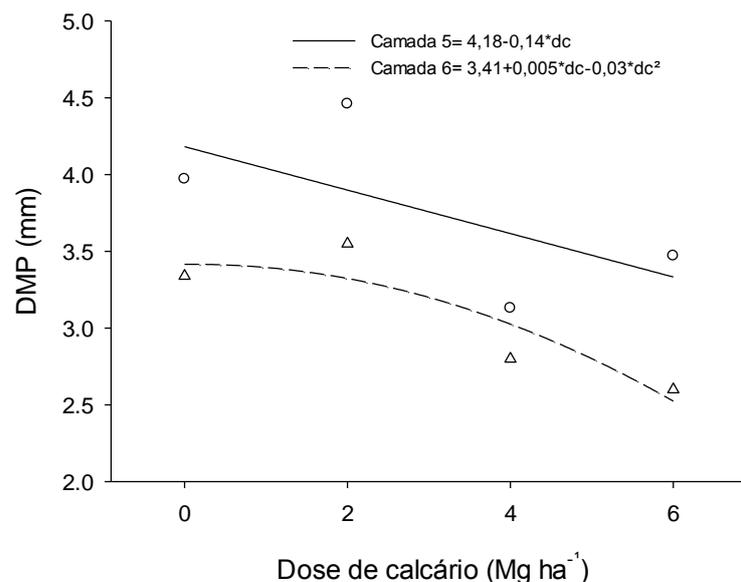


**Figura 5** – Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para os tratamentos dose de calcário nas seis camadas do perfil do solo cultivado sob sistema de plantio direto + aração.

Barras seguidas pela mesma letra, para o mesmo tratamento nas diferentes camadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %; \*efeito entre tratamentos na camada em questão não significativo a 5 %; \*\* efeito entre tratamentos na camada em questão significativo a 5 %.

Para as camadas 20 a 30 e 30 a 40 cm, ocorre interação com o tratamento calcário (Figura 6), onde as doses de calcário resultam em diminuição do DMP, apresentando tendência linear para a camada de 20 a 30 cm e tendência quadrática na camada de 30 a 40 cm.

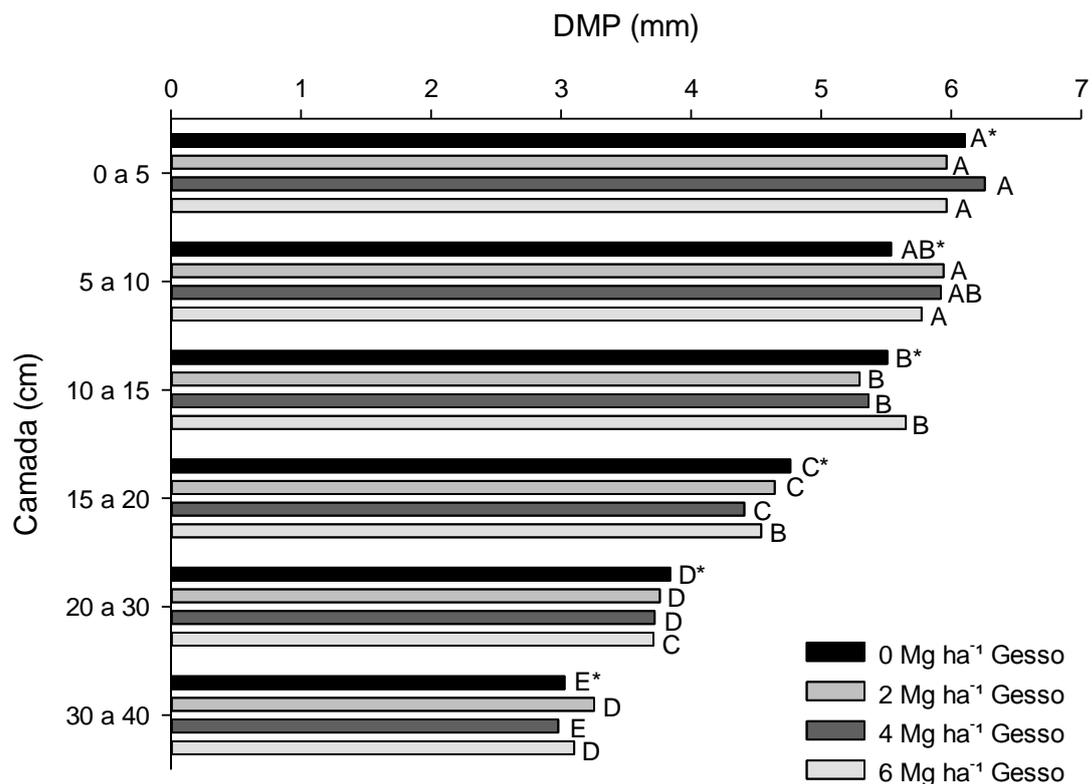
É possível verificar o efeito de desagregação do calcário na estrutura do solo, sendo que o mesmo se apresenta nas camadas mais profundas do perfil do solo. Este fator se deve à ação das práticas de manejo realizadas três anos antes da coleta das amostras, no momento da aplicação das doses, onde foi realizada a operação de aração do solo com incorporação de 50% das doses de calcário e os outros 50% aplicados em superfície. A incorporação de corretivos com implementos como arados e grades são responsáveis pela alteração das propriedades físicas (SILVA et al., 2009). Silva et al. (1998), estudando o efeito de calcário e gesso aplicados na superfície do solo, na dispersão de microagregação em colunas de PVC com Latossolo Vermelho Amarelo, verificaram que o calcário e o gesso promoveram alterações físico-químicas na camada superficial (0 a 15 cm), o que resultou em um ambiente com maior dispersão de argilas e desagregação do solo.



**Figura 6** – Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos tratamentos dose de calcário (dc) nas camadas 5 (20 a 30 cm) e 6 (30 a 40 cm) no manejo de solo sistema de plantio direto + aração.

O tratamento dose de gesso também se mostra variável com as camadas (Figura 7). Sendo que o DMP diminui linearmente com a profundidade do solo, sem que ocorra distinção dos tratamentos dentro de cada camada estudada. Analisando o comportamento dos tratamentos dose de gesso, na camada de 5 a 10 cm, os tratamentos com aplicação de gesso apresentaram maior DMP do que a testemunha dose zero. Para a camada de 10 a 15 cm, o

tratamento dose 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso apresentou-se maior do que os demais. Assim, pode-se afirmar que o gesso agrícola aplicado na superfície se movimentou até a camada de 10 cm do perfil do solo e a maior dose apresenta efeitos na camada de 10 a 15 cm. Hernani et al. (2001) constataram que, quando aplicado em superfície, o gesso diminuiu a magnitude de lixiviação, prolongando seu efeito residual.



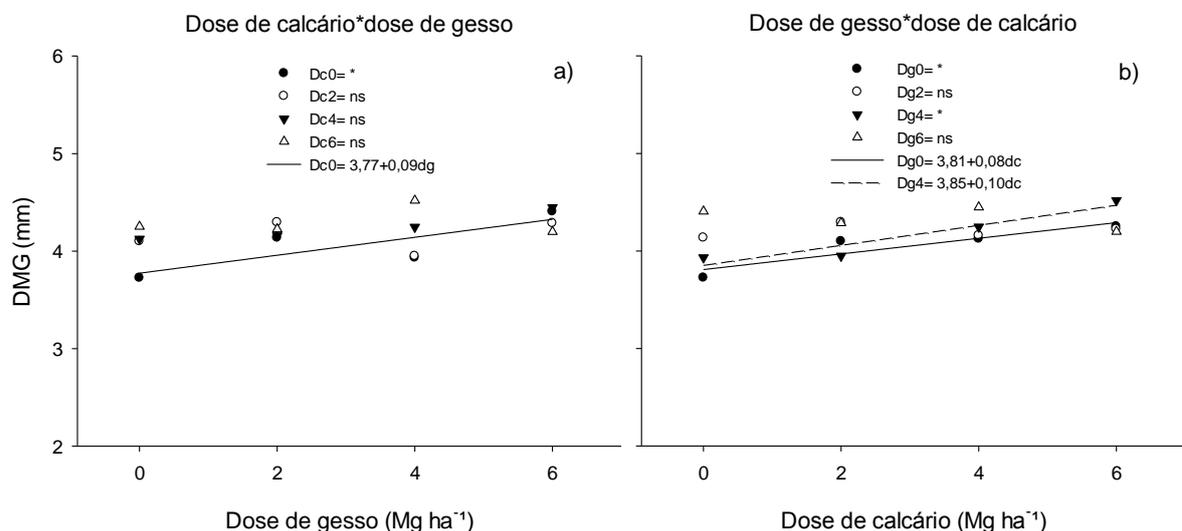
**Figura 7** – Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para os tratamentos dose de gesso agrícola nas seis camadas do perfil do solo cultivado sob sistema de plantio direto + aração.

Barras seguidas pela mesma letra, para o mesmo tratamento nas diferentes camadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %; \*efeito entre tratamentos na camada em questão não significativo a 5 %; \*\* efeito entre tratamentos na camada em questão significativo a 5 %.

### 3.3.3 Sistema de plantio direto + escarificação (Escarificado)

Na área onde o solo foi submetido a uma escarificação, ocorre interação entre os tratamentos (dose de calcário x dose de gesso) e entre o tratamento dose de gesso e

profundidade. Observa-se diferenças no DMG para a dose 0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, onde ocorre um aumento linear da agregação do solo com o incremento das doses de gesso (Figura 8a). Esta melhoria na agregação é resultado do efeito do gesso na floculação das partículas do solo (FAVARETTO et al., 2006). Quando o gesso é aplicado na superfície do solo, aumenta a concentração de eletrólitos da água pluvial que infiltra no solo (SERAFIM et al., 2012). Esta solução de solo mais concentrada comprime a dupla camada elétrica, fornecendo cálcio no complexo de troca (DONTSOVA & NORTON, 2002), favorecendo, assim, a agregação do solo. Rosa et al. (2013) encontraram aumentos nos níveis de agregação de um Latossolo Vermelho distroférico em área com aplicação de calcário.



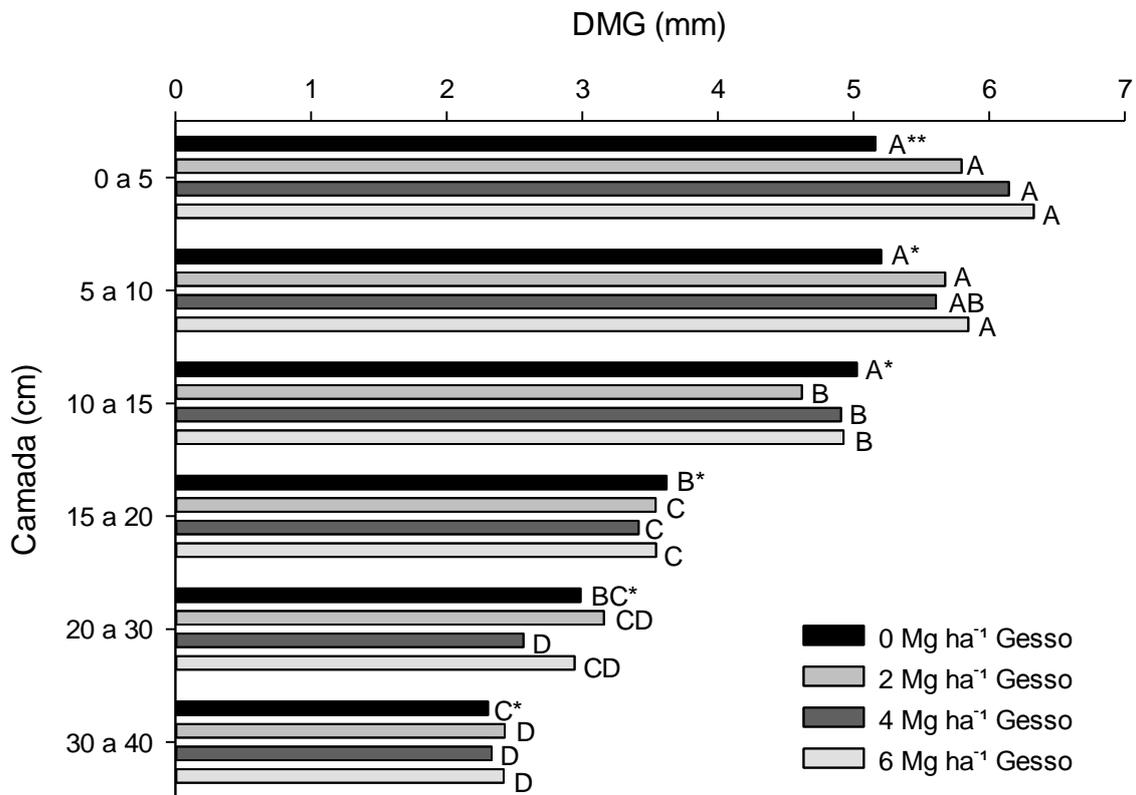
**Figura 8** - Diâmetro Médio Geométrico (DMG) para a interação entre os tratamentos dose de calcário e dose de gesso no manejo sistema de plantio direto + escarificação.

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; %; Dc0= Dose de calcário 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc2= Dose de calcário 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc4= Dose de calcário 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc6= Dose de calcário 6 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg0= Dose de gesso 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg2= Dose de gesso 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg4= Dose de gesso 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg6= Dose de gesso 6 Mg ha<sup>-1</sup>;

Para os tratamentos com aplicação de gesso, o DMG variou para as doses 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso, onde a combinação com doses crescentes de calcário aumenta linearmente a agregação do solo (Figura 8b). Para Rosa et al. (2013), a calagem aumentou a porcentagem de agregados maiores, onde a aplicação de 8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário apresentou os maiores valores. Além do efeito das cargas de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, que atuam na floculação das partículas de argila

(COSTA et al., 2004), a calagem propicia o aumento da atividade microbiana, que intensifica a decomposição da matéria orgânica, liberando compostos que auxiliam a aproximação de partículas do solo (ARANTES et al., 2011).

Para a interação entre o tratamento dose de gesso e profundidade, ocorrem variações ao longo do perfil para todos os tratamentos (Figura 9), em que estes diminuem o DMG linearmente com o aprofundamento do perfil.



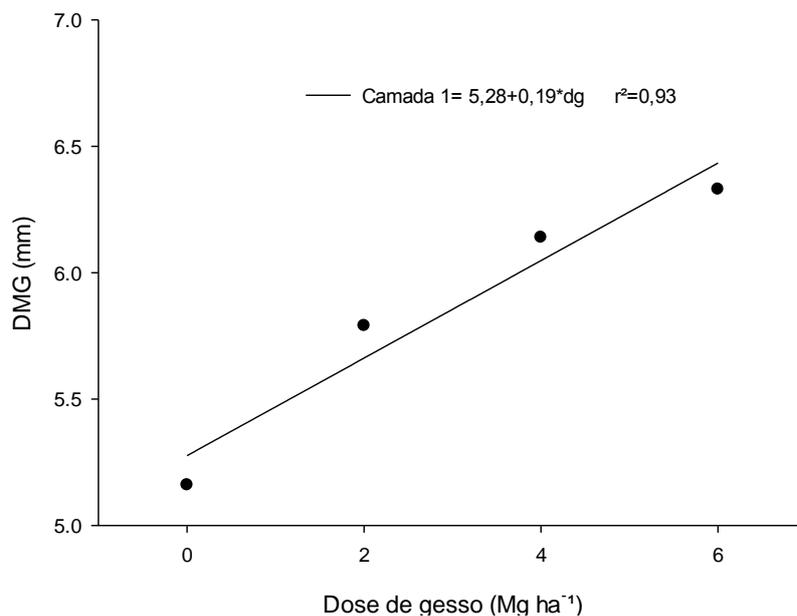
**Figura 9** – Diâmetro Médio Geométrico (DMG) para os tratamentos dose de gesso agrícola nas seis camadas do perfil do solo cultivado sob sistema de plantio direto + escarificação.

Barras seguidas pela mesma letra, para o mesmo tratamento nas diferentes camadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %; \*efeito entre tratamentos na camada em questão não significativo a 5 %; \*\* efeito entre tratamentos na camada em questão significativo a 5 %.

A camada de 0 a 5 cm apresenta interação entre as doses de gesso, ocorrendo aumento linear do DMG com o aumento das doses de gesso (Figura 10). A aplicação de gesso aumenta os níveis de cálcio nos pontos de troca e em solução promove a floculação das partículas de

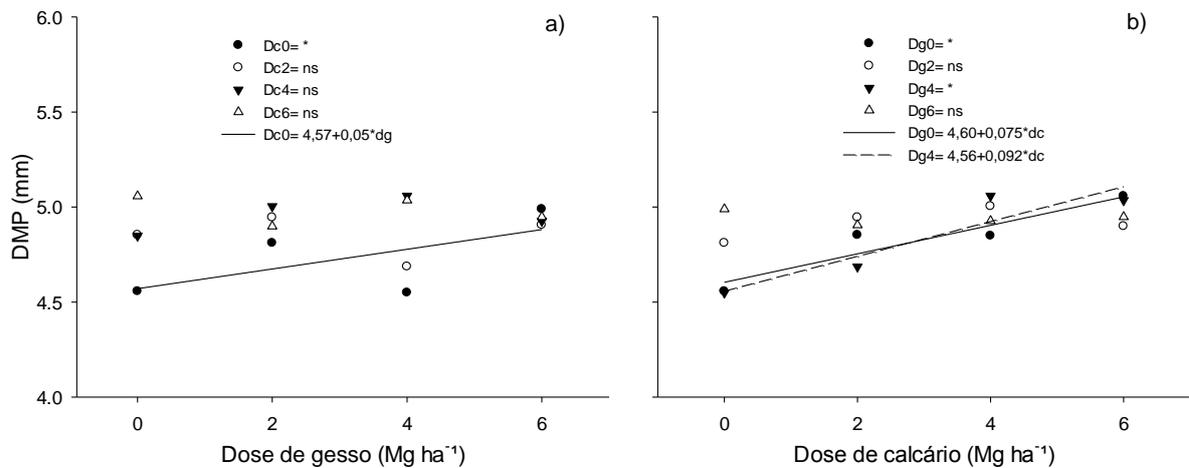
argila no solo (TIRADO-CORBALÁ et al., 2013). Os solos com alta concentração de cálcio têm maiores forças atrativas, o que mantém os microagregados estáveis, proporcionando maior estrutura ao solo.

Na camada de 5 a 10 cm não houve diferença estatística, contudo, é possível visualizar nos tratamentos dose de gesso que o DMG apresentou maiores valores. Para as demais camadas, os tratamentos foram semelhantes.



**Figura 10** – Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos tratamentos dose de gesso (dg) para a primeira camada (0 a 5 cm) no manejo de solo sistema de plantio direto + escarificação.

O DMP apresenta interação entre os tratamentos dose de calcário e dose de gesso. Para o tratamento dose 0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, as doses de gesso resultaram em um aumento linear do DMP (Figura 11a). Para os tratamentos 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso, as doses de calcário resultaram em um aumento linear do DMP.

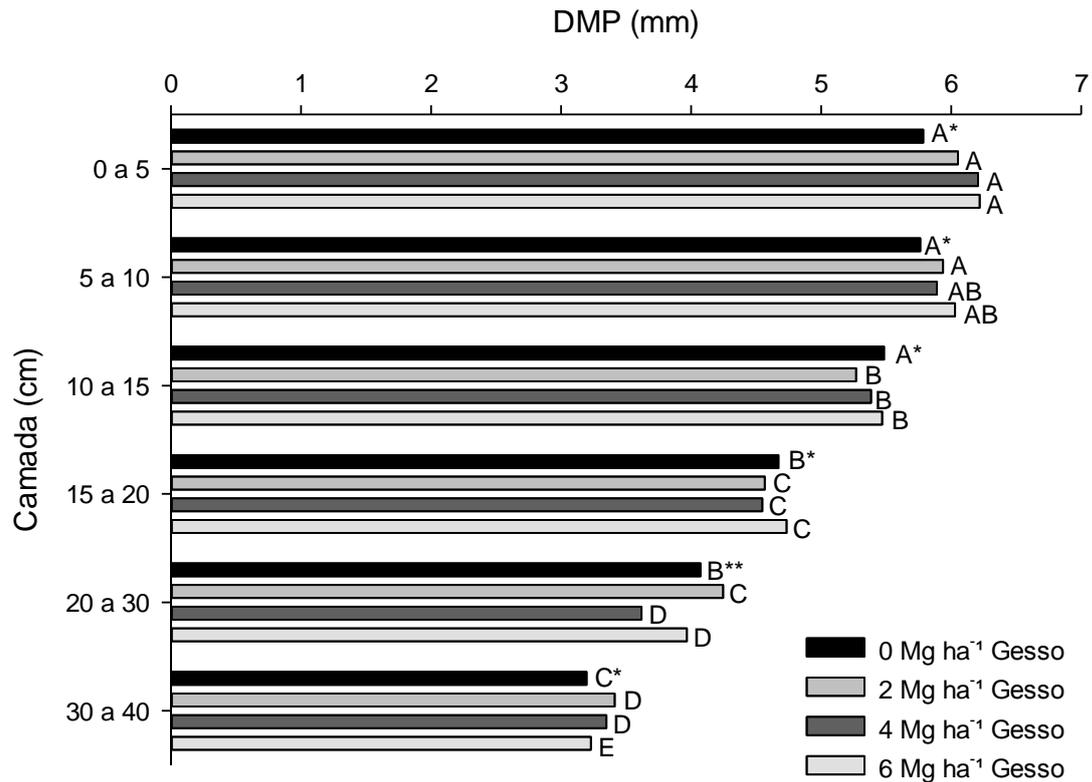


**Figura 11 - Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para a interação entre os tratamentos dose de calcário e dose de gesso no manejo sistema de plantio direto + escarificação.**

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; %; Dc0= Dose de calcário 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc2= Dose de calcário 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc4= Dose de calcário 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc6= Dose de calcário 6 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg0= Dose de gesso 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg2= Dose de gesso 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg4= Dose de gesso 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg6= Dose de gesso 6 Mg ha<sup>-1</sup>;

Este aumento na agregação do solo ocorre devido à adição de cálcio (Ca) pelos insumos calcário (Ca CO<sub>3</sub>) e gesso agrícola (Ca SO<sub>4</sub> . 2H<sub>2</sub>O). A ação do Ca na agregação do solo é verificada em diversos trabalhos. Briedis et al. (2012) constataram que o DMP de agregados de um Latossolo Vermelho foi influenciado pela aplicação de calcário, onde a aplicação de 6 Mg ha<sup>-1</sup> e a reaplicação sete anos depois de mais 3 Mg ha<sup>-1</sup> apresentaram maior DMP do que a aplicação isolada realizada somente em um ano. Chi et al. (2012), estudando o efeito do gesso em solos salino-sódicos da China, verificaram que o gesso foi eficiente na melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, aumentando a estabilidade de agregados e proporcionando maior crescimento e rendimento de arroz.

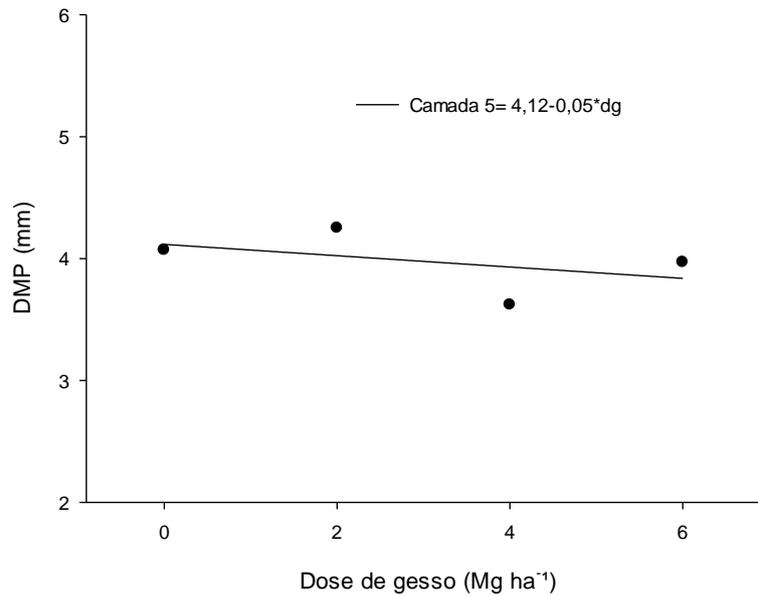
Houve interação para o tratamento doses de gesso e camadas do solo, havendo a diminuição do DMP para as camadas mais profundas e variação entre os tratamentos dose de gesso para a camada de 20 a 30 cm (Figura 12).



**Figura 12** – Diâmetro Médio Ponderado (DMP) para os tratamentos dose de gesso agrícola nas seis camadas do perfil do solo cultivado sob sistema de plantio direto + escarificação.

Barras seguidas pela mesma letra, para o mesmo tratamento nas diferentes camadas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %; \*efeito entre tratamentos na camada em questão não significativo a 5 %; \*\* efeito entre tratamentos na camada em questão significativo a 5 %.

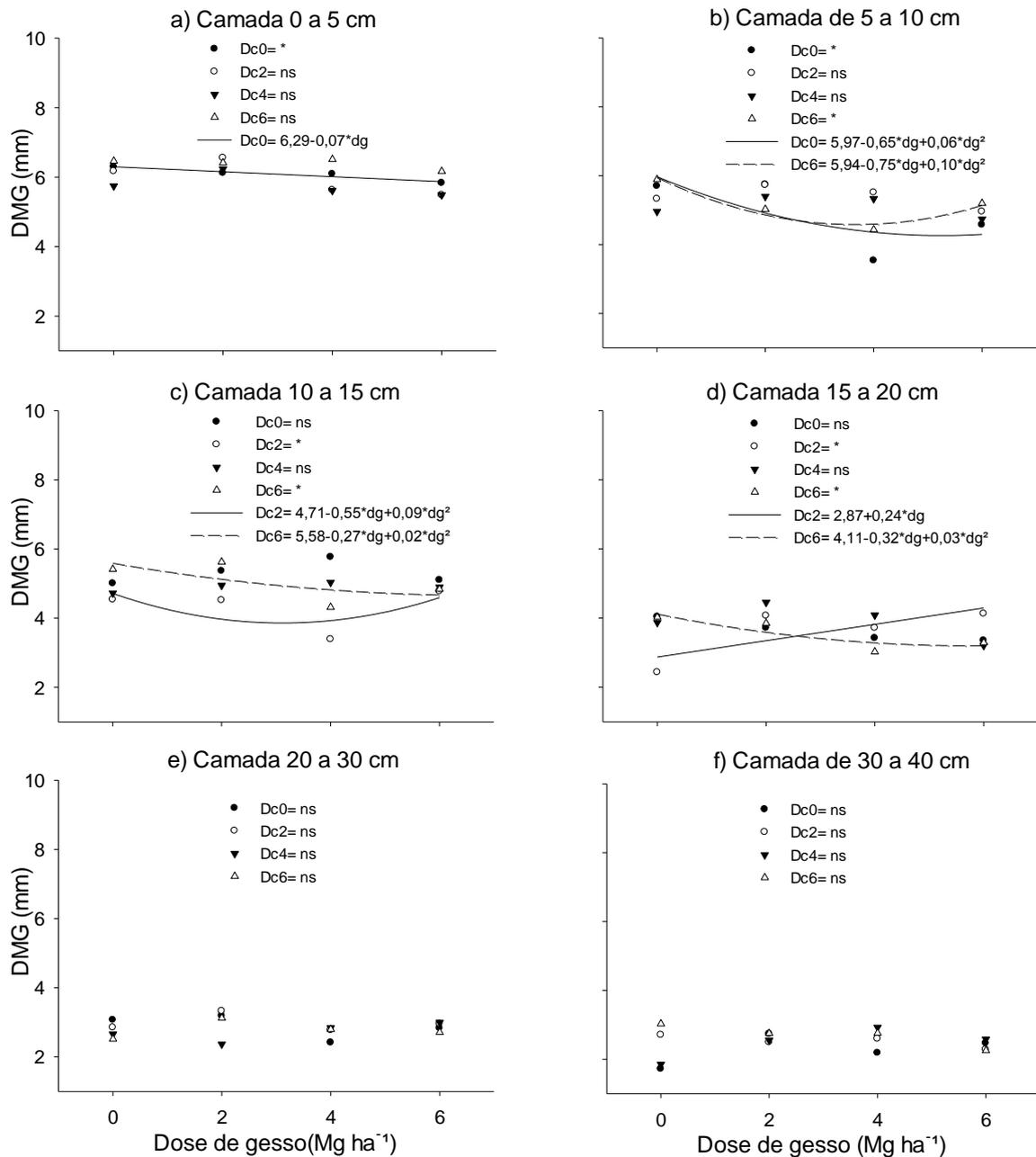
Nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, não ocorreu diferença estatística a 5% para o DMP. Contudo, é possível visualizar que nos tratamentos dose de gesso o DMP apresentou maiores valores. Houve interação para o tratamento dose de gesso dentro da camada 20 a 30 cm (Figura 13), onde o aumento das doses de gesso resulta na diminuição do DMP. Assim, assume-se que o gesso na área de plantio direto com uma escarificação atingiu a profundidade de 10 cm no perfil deste Latossolo Vermelho.



**Figura 13** – Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos tratamentos dose de gesso (dg) na camada 5 (20 a 30 cm) no manejo de solo sistema de plantio direto + escarificação.

### 3.3.4 Sistema de plantio direto contínuo.

O sistema de plantio direto contínuo apresenta interação entre camadas de perfil de solo e os tratamentos (dose de calcário x dose de gesso x profundidade). Na camada de 0 a 5 cm, ocorre interação para o tratamento dose 0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, onde o incremento de gesso resulta em diminuição linear do DMG (Figura 14a). Para a camada de 5 a 10 cm, ocorre alterações da agregação do solo nos tratamentos 0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, em que a combinação com 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso resulta na diminuição da agregação, que tende a aumentar na combinação 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e gesso (Figura 14b).



**Figura 14** – Diâmetro Médio Geométrico (DMG) nos tratamentos dose de calcário (Dc) em diferentes doses de gesso nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto contínuo.

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; Dc0= Dose de calcário 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc2= Dose de calcário 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc4= Dose de calcário 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dc6= Dose de calcário 6 Mg ha<sup>-1</sup>;

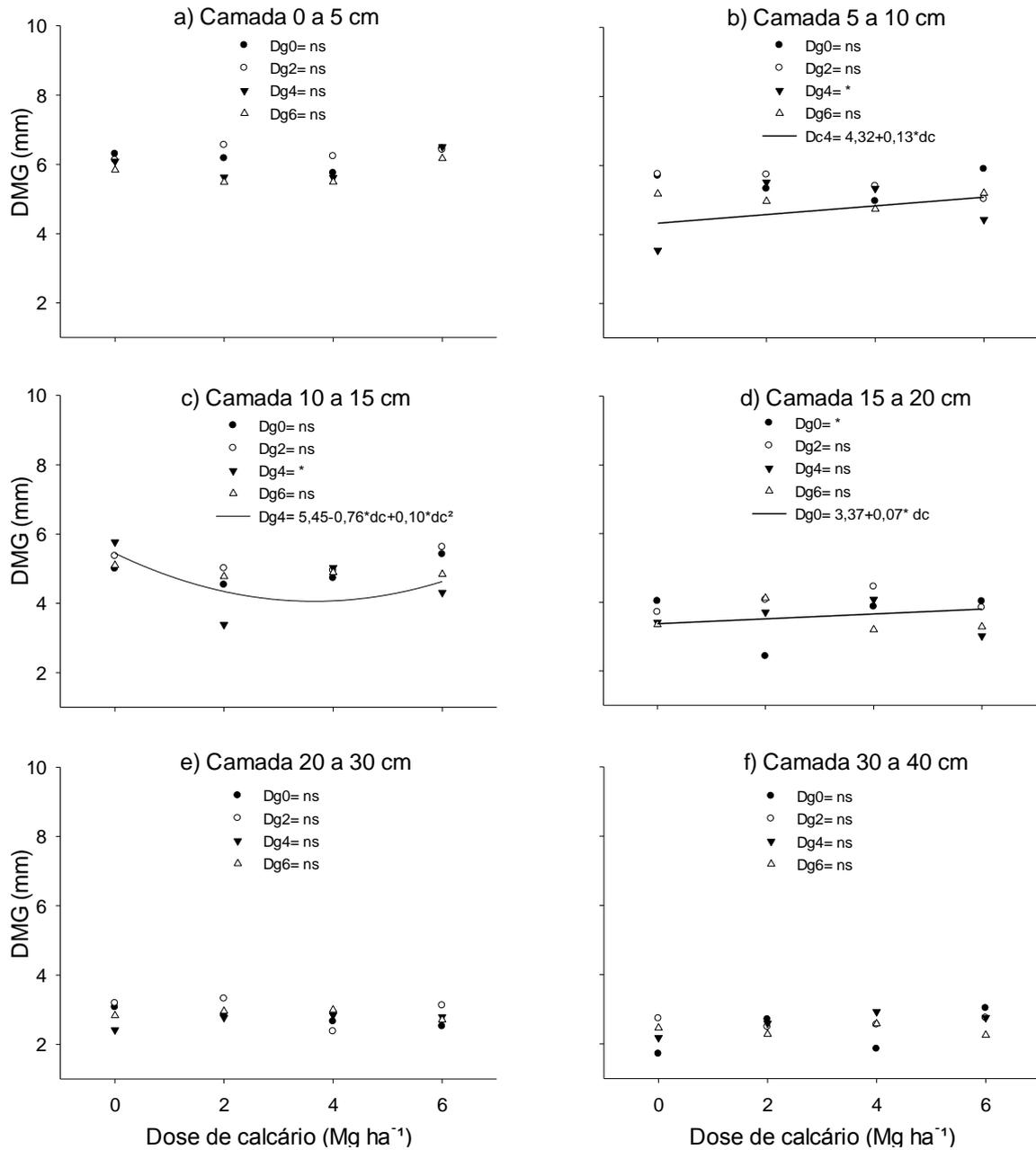
Na camada de 10 a 15 cm, os tratamentos 2 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário apresentam variação no DMG em função da dose de gesso. O tratamento 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário tem diminuição da agregação com a aplicação das doses 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso, tendendo a

umentar o DMG quando da combinação dos tratamentos  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário e gesso, enquanto que o tratamento  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário apresenta diminuição linear da agregação do solo com o incremento de doses de gesso (Figura 14c).

O DMG na camada 15 a 20 cm variou para os tratamentos 2 e  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário, ocorrendo aumento linear para o tratamento  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário em função das doses de gesso (Figura 14d). Já para o tratamento  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário, ocorre diminuição da agregação do solo em função das doses iniciais de gesso e, quando há a combinação dos tratamentos  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário e gesso, a agregação tem um pequeno aumento. Para as camadas mais profundas do perfil do solo (20 a 40 cm), não é verificado efeito dos tratamentos dose de calcário e gesso (Figura 14e e 14f).

Há interação entre as camadas do perfil do solo e os tratamentos dose de gesso e dose de calcário. Para a camada de 0 a 5 cm não houve efeito dos tratamentos (Figura 15a). Já a camada de 5 a 10 cm o tratamento  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso apresenta aumento linear do DMG em função das doses de calcário (Figura 15b). Para a camada de 10 a 15 cm, o tratamento  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso apresentou diminuição do DMG quando combinado com  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário e aumento da agregação quando combinado com as doses de 4 e  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (Figura 15c). A camada de 15 a 20 cm o tratamento dose  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso demonstrou aumento linear da agregação em função da aplicação de doses de calcário (Figura 15d).

A aplicação de calcário em superfície, sem incorporação, como é o caso da área cultivada sob plantio direto contínuo, cria um gradiente de correção de acidez do solo em profundidade, onde a amenização da acidez, abaixo das camadas da deposição do calcário, ocorre somente após o pH da zona de dissolução do calcário atingir valores de 5,0 a 5,6 (RHEINHEIMER et al., 2000; CAIRES, 2013). Para Caires et al. (2008), o calcário aplicado em superfície no sistema de plantio direto, apesar de ser pouco móvel no perfil do solo, proporcionou melhorias nas condições de acidez nas camadas do subsolo.

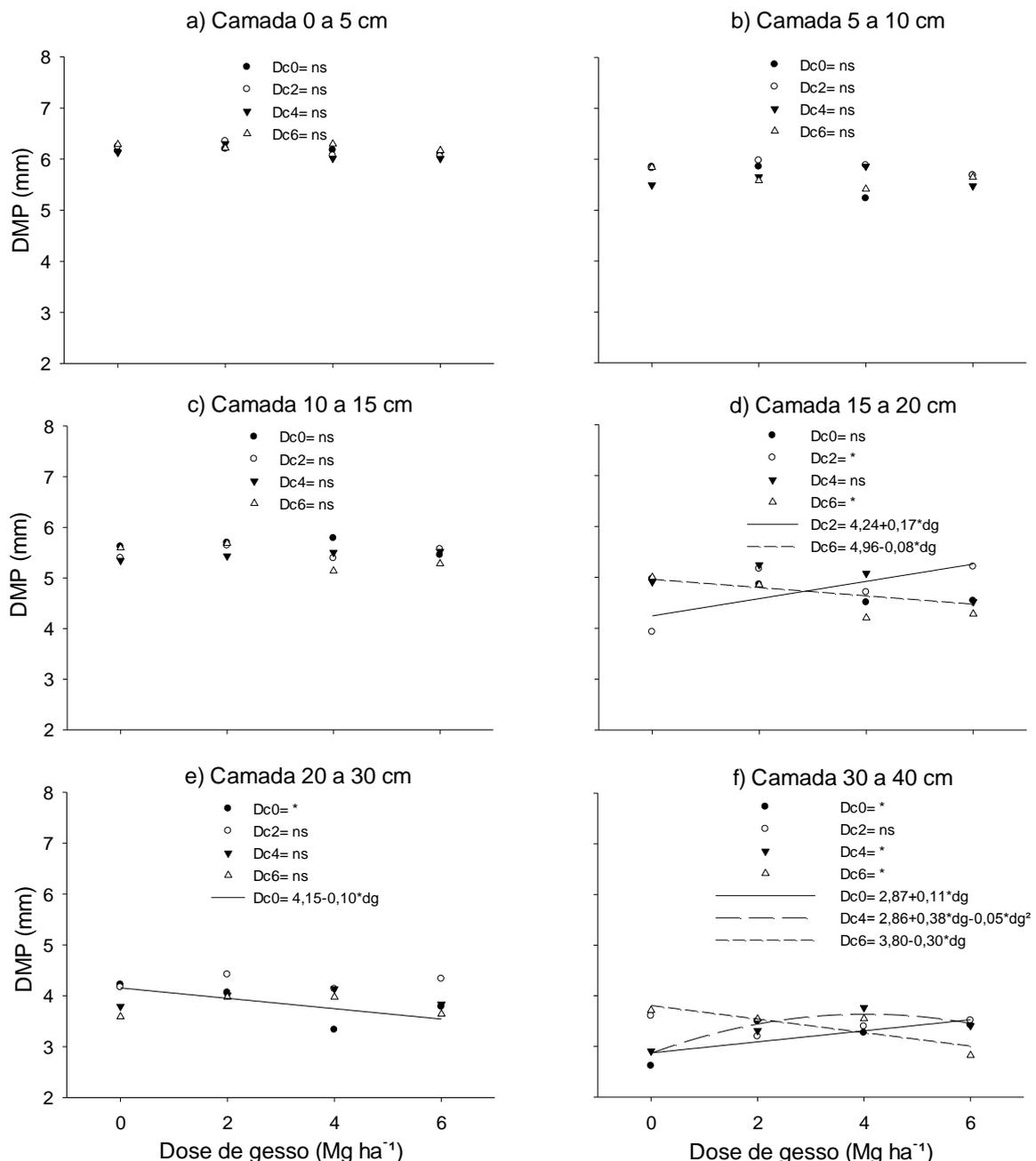


**Figura 15** – Diâmetro Médio Geométrico (DMG) nos tratamentos dose de gesso (Dg) em diferentes doses de calcário nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto contínuo.

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; Dg0= Dose de gesso 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg2= Dose de gesso 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg4= Dose de gesso 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg6= Dose de gesso 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

O DMP apresentou interação entre as camadas do perfil do solo e os tratamentos dose de calcário e dose de gesso. Na camada de 15 a 20 cm, o tratamento dose 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário apresenta aumento linear do DMP com a combinação das doses de gesso. Já para o

tratamento  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário, ocorre diminuição linear do DMP (Figura 16d). Esta diminuição do DMP na dose de  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário é observada para as camadas de 20 a 30 e 30 a 40 cm. Para esta última camada, os tratamentos 0 e  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário apresentam aumento no DMP com as combinações de doses de gesso.



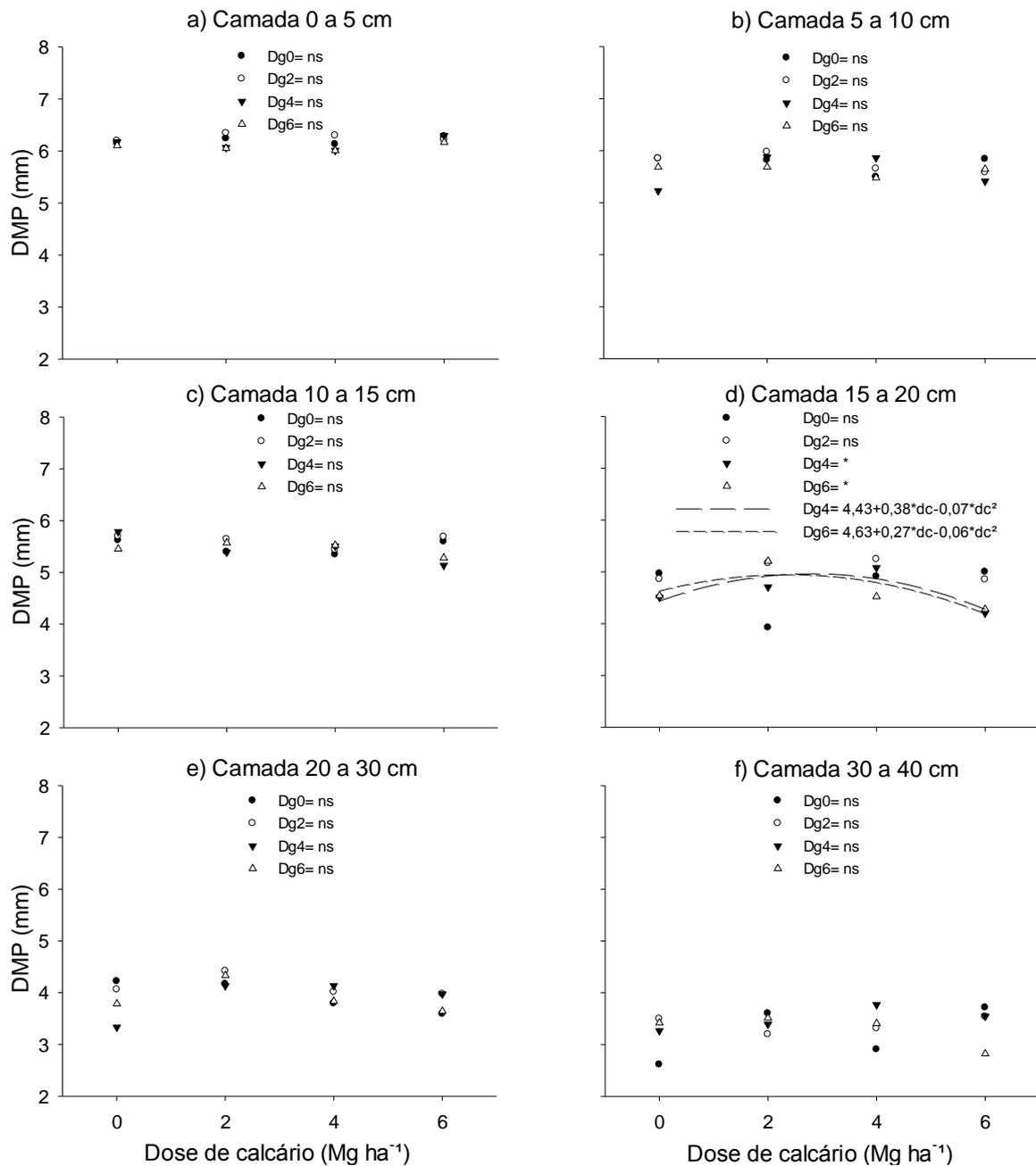
**Figura 16** – Diâmetro Médio Ponderado (DMP) nos tratamentos dose de calcário (Dc) em diferentes doses de gesso nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto contínuo.

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; Dc0= Dose de calcário  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; Dc2= Dose de calcário  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; Dc4= Dose de calcário  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; Dc6= Dose de calcário  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;

Diferentemente das áreas onde o sistema de plantio direto recebeu intervenção mecânica, a área que permaneceu sob sistema de plantio direto contínuo apresentou efeitos na agregação para a camada mais profunda (30 a 40 cm). Zapparoli et al. (2013), em trabalho realizado em vasos com aplicação superficial de calcário e gesso, observaram efeitos nas camadas de 20 a 40 cm, demonstrando que o produto possui capacidade de movimentação no perfil.

Corrêa et al. (2009) também verificaram efeitos da calagem em subsuperfície quando aplicada na superfície do solo em sistema de plantio direto. Este efeito em camadas mais profundas pode ser atribuído à continuidade de poros presentes no sistema de plantio direto que vem sendo conduzido na área há mais de uma década. A fauna presente no solo proporciona a abertura de galerias, onde ocorre transporte facilitado de água e solutos. Assim, é possível que os insumos aplicados na superfície tenham sido carregados para as camadas mais profundas, influenciando a agregação em subsuperfície.

A interação entre doses de gesso x dose de calcário x profundidade ocorre na camada de 15 a 20 cm, onde os tratamentos 4 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso apresentam aumento do DMP com as doses iniciais de calcário e diminuição do DMP quando combinados com a dose de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 17). Fernández et al. (2010) verificaram que área de sistema de plantio direto apresentou maior agregação na profundidade de 18 cm, quando comparada com sistema convencional. De acordo com Malik et al. (1986), as raízes das plantas liberam exudatos capazes de causar floculação da argila, melhorando a estrutura do solo. Lipiec et al. (2009), estudando o efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados, diagnosticaram que os agregados de camadas compactadas apresentavam menor sorvidade de água, expressando repelência a mesma, o que pode explicar os maiores valores de DMP para as camadas subsuperficiais do sistema plantio direto contínuo.



**Figura 17** – Diâmetro Médio Ponderado (DMP) nos tratamentos dose de gesso (Dg) em diferentes doses de calcário nas seis camadas do perfil do solo em área cultivada sob sistema de plantio direto contínuo.

\*significativo a 5 %; ns não significativo a 5 %; Dg0= Dose de gesso 0 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg2= Dose de gesso 2 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg4= Dose de gesso 4 Mg ha<sup>-1</sup>; Dg6= Dose de gesso 6 Mg ha<sup>-1</sup>;

### 3.4 Conclusões

A agregação do solo foi influenciada pelas práticas de manejo e doses de calcário e gesso.

Na área onde o solo foi arado, o DMG dos agregados diminuiu em função das doses de calcário. O gesso proporcionou aumentos no DMP para a camada de 0 a 15 cm.

Onde o solo foi escarificado, o gesso proporcionou aumentos no DMG e DMP dos agregados na camada de 0 a 10 cm. Nesta condição de preparo do solo, o calcário de maneira isolada não apresentou efeito na agregação do solo.

### 3.5 Referências bibliográficas

ABDOLLAHI, L.; SCHJØNNING, P.; ELMHOLT, S.; MUNKHOLM, L.J. The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 28-37, 2014.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade de estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 799-806, 2003.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 359-367, 2004.

ARANTES, S. A. C. M.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L. Efeito da calagem na mineralização de <sup>14</sup>C-glifosato em solos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 234-241, 2011.

ASSIS, R. L. de.; LANÇAS, K. P. Agregação de um Nitossolo Vermelho distoférrico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 58-66, 2010.

BAYER, C.; MARIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, p. 237-245, 2006.

BEUTLER, A. N. et al. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 129-136, 2001.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Mechanical properties and soil organic carbon of soil aggregates in the northern Appalachians. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 1472-1481, 2005

BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado brasileiro**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F. & da COSTA, L. M. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 125-130, 1997.

BRIEDIS, C. et al. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v. 170, p. 80-88, 2012.

BUTIERRES, M. de F. M. **Efeito do calcário e do fosfato de potássio no ponto de carga zero (PCZ) e grau de floculação de três solos do Rio Grande do Sul**. 1980. 58 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1980.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. **International Plant Nutrition Institute**, n. 141, 2013, 13p. (Informações Agronômicas).

CAIRES, E. F.; PEREIRA FILHO, P. R. S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I. C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 302-309, 2008.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NOCOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. **Soil aggregation mechanisms affected by liming**. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., Montpellier, 1998. Proceedings. Montpellier, ISSS, 1998. CD-ROM.

CHI, C. M.; ZHAO, C. W.; SUN, X. J.; WANG, Z. C. Reclamation of saline-sodic soil properties and improvement of rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield using desulfurized gypsum in the west of Songnen Plain, northeast China. **Geoderma**, v. 187-188, p. 24-30, 2012.

CHOUDHURY, S. G. et al. Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice-wheat cropping system under reclaimed sodic soil. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 76-83, 2014.

CONCEIÇÃO, P. C. **Proteção física da matéria orgânica do solo em solos do Sul do Brasil**. 2006. 145 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL C. A. C.; MORAES, M. H. Alterações de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 263-272, 2009.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 281-284, 2004.

DAS, B. et al. Effect of integrated nutrient management practice on soil aggregate properties, its stability and aggregate-associated carbon content in an intensive rice-wheat system. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 9-18, 2014.

DENEF, K.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 1165-1172, 2007.

DONTSOVA, K. M.; NORTON, L. D. Clay dispersion, infiltration and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. **Soil Science Society of America Journal**, v. 167, p. 184-193, 2002.

FASSBENDER, W. H. **Química de suelos**. San José, Costa Rica: IICA, 1986. 398 p.

FAVARETTO, N.; NORTON, L. D.; JOERN, B. C.; BROUDER, S. M. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium affecting phosphorus and nitrogen in runoff. **Soil Science Society of American Journal**, v. 70, p. 1788-1796, 2006.

FERNÁNDEZ, R.; QUIROGA, Q.; ZORATI, C.; NOELLEMAYER, E. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 109, p. 103-109, 2010.

GANCEDO, M. **Efeito do nitrogênio, calcário e gesso agrícola em alguns atributos de um Latossolo e no desenvolvimento de Gladóilo**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, , 2006. p.

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

JHA, P.; GARG, N.; LAKARIA, B. L.; BISWAS, A. K.; RAO, A. S. Soil and residue carbon mineralization as affected by soil aggregate size, **Soil and Tillage Research**, v. 121, p. 57-62, 2012.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K.; HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. **Geoderma**, v. 134, p. 24-33, 2006.

KASPER, M.; BUCHAN, G. D.; MENTLER, A.; BLUM, W. E. H. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions, **Soil and Tillage Research**, v. 105, p. 192-199, 2009.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E., eds. **Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510. (Agronomy Series, 9)

LACERDA, N. B. et al. Efeitos de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um Nitossolo Vermelho, **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 686-695, 2005.

LEVIEN, R.; CAMARGO, C. A.; FURLANI, C. E. A. Preparo convencional reduzido em solo argiloso em diferentes condições de cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, v. 23, p. 277-289, 2003.

LIPIEC, J.; WÓJCIGA, A.; HORN, R. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 170-177, 2009.

MALIK, K. A.; ASLAM, Z.; NAQVI, M. **Kallar Grass: A Plant of Saline Land**. Nuclear Institute for Agriculture and Biology, 1986, 93 p.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, p. 141-150, 2000.

MENTLER, A.; STAUDINGER, B.; STRAUSS, P. **Determination of organic carbon (TOC), nitrogen (Nt) and phosphorus (Pt) in Stable soil aggregates fractionated by ultrasound dispersion method**. In: From: IPW 4, Proc. 4<sup>th</sup> International Phosphorus Workshop-Critical Evaluation of Options for Reducing Phosphorus Loss from Agriculture, Wageningen, The Netherlands, 2004, 62 p.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3 ed. Piracicaba: FEALQ, 2008, 592 p.

REINERT, D. J.. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em Solo Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 14, p. 19-25, 1984.

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

ROSA, Y. B. C. J. et al. Calcário e gesso na produção de bulbos de Amarílis em Latossolo Vermelho Distroférrico, **Revista Agrarian**, v. 6, n. 19, p. 43-50, 2013.

ROSA JUNIOR, E. J.; VITORINO, A. C. T.; VITORINO, P. F. P. G. Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo Distrófico de Dourados – MS. **Revista Científica**, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.

SALTON, J. C., et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, H. G. dos. et al. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SERAFIM, M. E.; LIMA, J. M. de; LIMA, V. M. P.; ZEVIANI, W. M.; PESSONI, P. T. 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, A. J. da.; SAMPAIO, R. A.; COSTA, L. M. da.; FONTES, L. E. F. Efeito de calcário e gesso na dispersão e microagregação de um Latossolo vermelho amarelo. **Agropecuária Técnica**, v. 19, p. 30-36, 1998.

SILVA, V. R. da; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BORTOLUZZI, E. C. Soil water dynamics related to state of compaction of two brazilian oxisols under no-till system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1097-1104, 2009.

SOUZA, E. D. de. et al., Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1365-1374, 2010.

TIRADO-CORBALÁ, R.; SLATER, B. K.; DICK, W. A.; BIGHAM, J. Hydrologic properties and leachate nutrient responses of soil columns collected from gypsum-treated fields. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 232-240, 2013.

TRIPATHI, R. et al., Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions after 41 years long-term fertilizer experiment in tropical Rice-rice system. **Geoderma**, v. 213, p. 280-286, 2014.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Informações recentes para otimização da produção agrícola**. International Plant Nutrition Institute, n. 117, 2007, 28p. (Informações Agronômicas).

YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, p.1467-1476, 1988.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Soil Science Society of America Journal**, v. 28, p. 337-351, 1936.

ZAPPAROLI, R. A. et al. Associação calcário e gesso na cultura da soja e nas características químicas do solo com alta saturação em alumínio. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 4, p. 74-84, 2013.

#### **4. ARTIGO 3 – MICROAGREGAÇÃO DO SOLO COMO RESPOSTA AO MANEJO DO SOLO, E DOSES DE CALCÁRIO E GESSO**

##### **RESUMO**

A agregação do solo expressa a estrutura do solo. Os agregados são formados por meio do arranjo de partículas, onde as forças eletroquímicas do solo atuam facilitando a floculação ou a dispersão destas partículas. Neste contexto, o objetivo deste estudo é avaliar a estabilidade de microagregados em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho sob aplicação de calcário e gesso em três manejos do solo. Em junho de 2009, foi instalado o experimento, com delineamento experimental de blocos com parcelas subdivididas. Nas parcelas, alocaram-se as práticas de manejo do solo (convencional, escarificado e sistema de plantio direto contínuo), nas subparcelas doses de calcário ( 0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e as doses de gesso nas subsubparcelas ( 0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>). A área foi cultivada com culturas anuais e três anos depois foi realizada a coleta das amostras, realizada em blocos indeformados em profundidades de 0 a 5 , 5 a 10, 10 a 15 , 15 a 20 , 20 a 30 e 30 a 40 cm, sendo estas amostras desfragmentadas em microagregados de 1 a 2 mm de diâmetro. Determinaram-se os índices de estabilidade de agregados e resistência dos agregados à dispersão ultrassônica por difração de laser para três frações de agregados após a leitura do aparelho. O preparo do solo alterou a agregação e resistência de microagregados ao estresse por ultrassons. A calagem e gessagem modificam a agregação e resistência de agregados. As menores frações de agregados foram mais sensíveis em diagnosticar as alterações na estrutura do solo.

**Palavras-chave:** Microagregados. Estrutura do solo. Difração Laser

**MICRO AGGREGATION OF SOIL MANAGEMENT AS A RESPONSE TO THE GROUND AND DOSES OF LIME AND PLASTER**

## ABSTRACT

The soil aggregation and expresses the soil structure. The aggregates are formed through the arrangement of particles, where the electrochemical forces in the soil act facilitating flocculation or dispersion of these particles. In this context, the aim of this study is to evaluate the stability of microaggregates in different layers of an Oxisol under application of lime and gypsum in three soil management. In June 2009, the experiment was carried out with randomized blocks with split plots and the plots allocated up the practices of soil management (conventional, chisel plow and tillage system of continuous), subplots lime rates (0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) and the subsubplots doses of gypsum (0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>), the area was planted with annual crops and three years later the collection of samples was performed in indeformados blocks at depths of 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm, these samples being defragmented microaggregates of 1 to 2 mm in diameter. We determined the rates of aggregate stability and strength of aggregates ultrasonic dispersion by laser diffraction for three fractions of aggregates after reading the device. Soil tillage altered aggregation and resistance to stress ultrasound microaggregates. Liming and gypsum resulted in the aggregation effect and resistance of aggregates to stress ultrasound. Smaller fractions of aggregates were more sensitive in diagnosing structural soil amendments.

**Keywords:** Microaggregates. Soil structure. Laser Diffraction.

### 4.1 Introdução

O excesso de preparo do solo pode causar danos para as áreas cultivadas (HOLLENDER et al., 2005) como compactação do solo, impermeabilização da camada superficial e aumento da ocorrência de erosão (ROSNER et al., 2004), enquanto que práticas de cultivo sem o revolvimento do solo são utilizadas como manejo conservacionista, a fim de manter as condições estruturais do solo (HUSNJAK et al., 2002). Assim, áreas cultivadas sob Sistema de Plantio Direto (SPD) apresentam um aumento da atividade microbiana (GAJDA et al., 2013), conteúdo de água no solo (SLAWINSKI et al., 2012) e estabilidade de agregação do solo (GODDARD et al., 2008; SCHULZ, 2012). Um dos benefícios do aumento da

estabilidade de agregados é a diminuição das perdas de nutrientes do solo (SPIEGEL & MENTLER, 2003), ao mesmo tempo em que amplia a quantidade de agregados maiores e a porosidade total (SHAVER et al., 2002).

Contudo, muitas vezes, se fazem necessárias intervenções mecânicas na forma de práticas de preparo do solo, técnica utilizada para disponibilizar um ambiente favorável à determinada cultura. Porém, esta prática pode resultar em modificações severas na estrutura do solo, potencializando a degradação destas áreas.

A agregação do solo é o resultado do arranjo de partículas, sendo influenciada pela flocculação e cimentação das frações que compõem a estrutura de microagregados do solo (BRIEDIS et al., 2012). A microagregação do solo desempenha um papel importante não só para a estruturação, mas, também, no acúmulo e preservação de nutrientes no solo, pois a estabilidade de agregação forma um compartimento estável frente às ações de degradação (BURAK et al., 2011). A desestruturação destes agregados pode ser considerada como o início do processo de degradação do solo (CASTILHO et al., 2008).

O cálcio é um elemento fundamental para a estabilização de agregados, atuando na formação de complexos com argila e matéria orgânica através de ponte catiônica (SIX et al., 2004; BRONIC & LA, 2005). Esta ligação resulta na formação de microagregados, que possibilitam maior tempo de permanência do carbono no solo (BAYER et al., 2011). Segundo Baldock et al. (2000), o processo de formação de pontes de cálcio é o fator dominante para o efeito positivo a longo prazo de adição de cálcio sobre a estabilidade estrutural do solo.

O Ca pode ser adicionado aos solos agrícolas de duas formas básicas: com a calagem ( $\text{CaMgCO}_3$ ) e com o gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4$ ). O calcário atua na correção do pH e na eliminação da toxicidade de  $\text{Al}^{3+}$ . A calagem provoca aumento de cargas negativas dependentes do pH no solo, devido à dissociação de  $\text{H}^+$  da superfície das partículas coloidais. Como consequência, a calagem pode ocasionar a dispersão dos colóides. O gesso agrícola, quando alcança o subsolo, proporciona aumento no suprimento de  $\text{Ca}^{2+}$  e reduz a toxicidade de  $\text{Al}^{3+}$  (SUMNER, 1995). Como resultado desta melhoria em nível de perfil de solo, o sistema radicular é capaz de se desenvolver em maiores profundidades.

O gesso agrícola é um produto que apresenta em sua constituição cerca de 21% de cálcio, 15,5% de enxofre e 0,0% de fósforo total (FERREIRA et al., 2013), além de ser um insumo de baixo custo (TRUMAN et al., 2010; SOUZA et al., 2012).

Tecnologias em equipamentos que utilizam a teoria da Luz laser são usadas para determinar classes de tamanho de partículas de forma detalhada e rápida (PIERI et al., 2006; PYE & BLOTT, 2004). Esses equipamentos também contam com acessórios, tais como o que

permite a ultrassonificação da amostra. O uso de ultrassom também pode ser utilizado como simulador de estresse mecânico, permitindo estudos de estabilidade de microagregados (NORTH 1976, 1979; GREGORICH et al., 1988; CHRISTENSEN 1992; MAYER et al., 2002; MENTLER et al., 2004; KASPER et al., 2009; AN et al., 2010; BORTOLUZZI et al., 2010). Com essa técnica, é possível conhecer a resistência que um solo oferece à desagregação em função de energias diferentes (RAINE & SO, 1993). O índice de desagregação pode ser avaliado isoladamente ou em curvas de desagregação, cujo comportamento é um reflexo da estabilidade do agregado (SÁ et al., 2000; 2002).

Nesse sentido, este trabalho testará a seguinte hipótese: a incorporação de Ca em solos, manejados com as principais modalidades de manejo, em duas doses via Gesso e Calcário, permite a microagregação e a resistência ao estresse por ultrassons diferenciada. Para isso, será utilizada a tecnologia de difração laser e a ultrasonificação.

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a estabilidade de microagregados em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho sob aplicação de calcário e gesso agrícola em três manejos de solo.

## 4.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006) do município de Boa Vista das Missões, Rio Grande do Sul. O clima da região, segundo a classificação de Maluf (2000), é subtropical com primavera úmida (ST PU), com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1919 mm ano<sup>-1</sup>.

A área do experimento vinha sendo cultivada há mais de uma década sob SPD. Em julho de 2009, o experimento foi instalado, cujo delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais (20 x 20 m), alocaram-se as práticas de manejo de solo: i) sistema de plantio direto + aração (convencional) (1 aração a 40 cm de profundidade + 2 gradagens); ii) sistema de plantio direto + escarificação (escarificado) (escarificação até 30 cm de profundidade); iii) sistema de plantio direto contínuo. Nas subparcelas (5 x 5 m), os tratamentos que constaram nas combinações de doses de calcário (0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e doses de gesso (0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>). Para os tratamentos com revolvimento do solo, a aplicação de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário foi realizada de maneira fracionada, com a aplicação de 50% da dose antes do revolvimento do solo e o restante depois da operação de manejo. O

gesso foi aplicado na superfície do solo após as operações de manejo de solo e semeadura da aveia preta, sem incorporação mecânica. As culturas implantadas na área foram: aveia preta – soja – trigo – milho – aveia preta – soja e, no cultivo de inverno de 2012, a área permaneceu em pousio para coleta das amostras.

Amostras de solo em blocos indeformados foram coletadas em seis profundidades do perfil do solo, 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 e 30-40 cm. No laboratório, as amostras de solo foram desfragmentadas manualmente em agregados com diâmetro entre 1 a 2 mm e posteriormente secas à sombra e em temperatura ambiente. Esse tipo de amostra foi utilizada para a análise da microagregação do solo, em que as amostras de microagregados (classe de tamanho entre 1 e 2 mm) foram submetidas à difração laser (DL), seguindo metodologia proposta por Poleto et al. (2007). A determinação da granulometria das amostras foi realizada em duas condições: uma sob agregação natural do solo (AN) e outra após a exposição das amostras à ação de ondas ultrassônicas (AS). Nesta última, as amostras de agregados foram pré-expostas por 30 segundos a uma onda de ultrassom (com energia equivalente a 18,1 J mL<sup>-1</sup>). As leituras de tamanho de agregados foram determinadas em um difratômetro laser, modelo Beckman Coulter LS 320<sup>®</sup>. Analisou-se também o tamanho de agregados entre 0,04 a 2.000 µm, distribuídos em 94 classes. Detalhes desse procedimento estão apresentados em Bortoluzzi et al. (2010).

A fim de estudar o efeito das doses de calcário e gesso na microagregação no perfil do solo, foi calculado o diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA).

$$DMG = \frac{\exp \sum_{i=1}^n (w_p \cdot \log x_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

onde:  $w_p$  é a distribuição dos agregados em cada classe (%);  $x_i$  diâmetro médio das classes (µm); e  $w_i$  é a proporção de cada classe em relação ao total.

O IEA é a razão entre o volume retido na malha de interesse e o volume total da amostra, expresso em porcentagem. Foi determinado o IEA em três diferentes classes de tamanho de agregados: 2 µm para estimar a fração menor que argila; 50 µm para cálculo da fração equivalente a argila; e 212 µm, diâmetro médio usado em estudos de estabilidade de agregados convencional, proposto por Kemper & Chepil (1965).

Amostras de solos deformadas (desestruturadas manualmente em cadinhos de cerâmica) foram utilizadas para a determinação do Carbono Orgânico Total, realizado através do método de Mebius adaptado para uso em bloco de digestão como descrito por Yeomans & Bremner (1988) e Santos et al. (2008). Em resumo, as amostras de terra fina secas ao ar, de 0,20 a 0,50 g, foram alojadas em tubos de vidro de 2,5 cm de diâmetro e 25,0 cm de altura. Foi adicionada solução oxidante composta de 10 mL de  $K_2Cr_2O_7$   $0,067 \text{ mol L}^{-1}$  e, posteriormente, 15 mL de  $H_2SO_4$  concentrado, acrescido lentamente pela parede dos tubos alojados em capela de exaustão. Os tubos foram postos em bloco de digestão e em cada bateria de 40 amostras utilizaram-se 4 provas em branco. Os tubos foram colocados no bloco, pré-aquecido a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 30 minutos. O conteúdo foi transferido para *erlenmeyer*, juntamente com 80 mL de água destilada. As amostras foram então tituladas com sulfato ferroso amoniacal  $[Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$   $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ , na presença de cinco gotas do indicador ferroína (O-fenantrolina), até a virada de cor verde para a cor violeta. Os valores de Carbono Orgânico Total (COT) foram determinados pela equação:

$$COT \text{ (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{mL SFA}_{\text{branco}} - \text{mL SFA}_{\text{amostra}}) * \text{MOL do SFA} * 12,01}{3 * MS_a * 1,14} \quad (2)$$

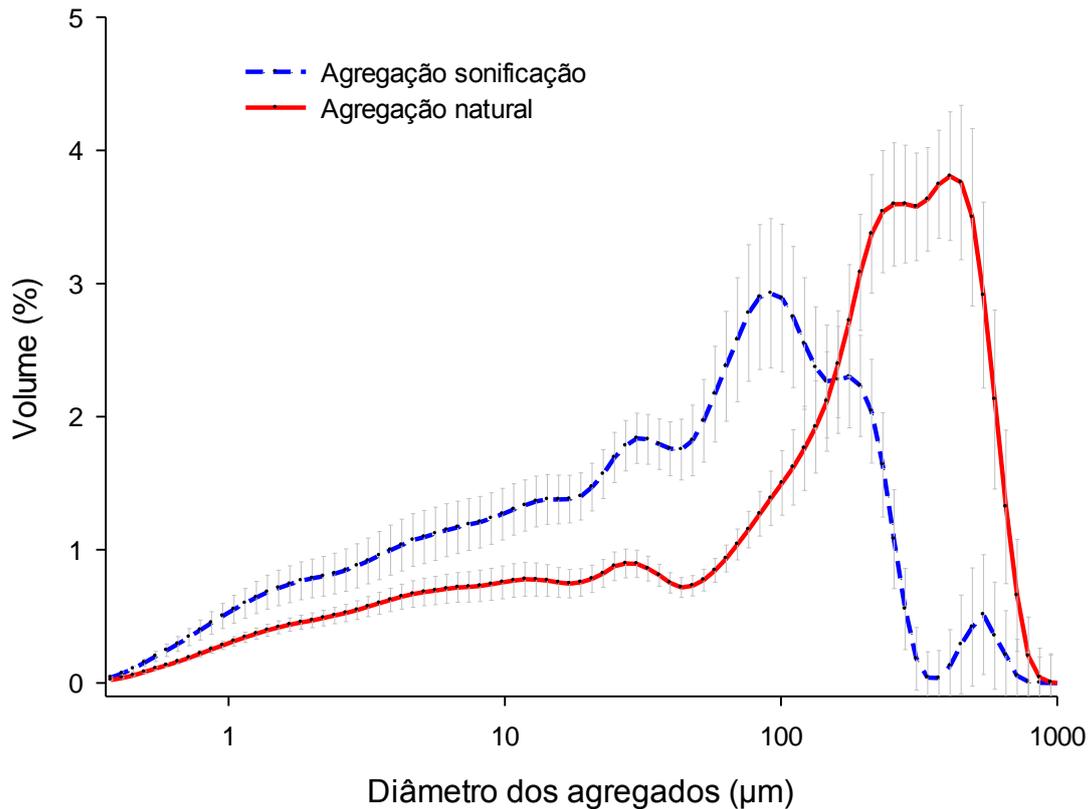
sendo: COT ( $\text{g kg}^{-1}$ ) = Carbono Orgânico Total; mL SFA<sub>branco</sub> = mL de Sulfato Ferroso Amoniacal gastos para titular a amostra em branco; mL SFA<sub>amostra</sub> = mL de Sulfato Ferroso Amoniacal gastos para titular a amostra com solo; MOL do SFA = molaridade do sulfato ferroso amoniacal (0,1) e MS<sub>a</sub> = massa de solo da amostra em g.

Os valores dos IEA e DMG foram submetidos à ANOVA e o cálculo das médias foi realizado com o teste de Tukey a 5% de erro.

### 4.3 Resultados e Discussão

A determinação por DL da agregação sob duas condições (AN e AS) permitiu diagnosticar diferenças para as leituras da distribuição do tamanho dos agregados (Figura 1). Quando a determinação foi realizada imediatamente após a inserção das amostras no aparelho (AN), teve-se maior volume de agregados com maiores diâmetros, com o pico modal de aproximadamente  $500 \mu\text{m}$ . Porém, quando as amostras foram submetidas à ação ultrassônica

(dispersão), houve uma desestruturação dos agregados, diminuindo o pico modal para 100  $\mu\text{m}$  (Figura 1). Westerhof et al. (1999), ao aplicar estresse de agitação de 30 minutos nas amostras, encontraram aumento da concentração de material com diâmetro médio < 74  $\mu\text{m}$ , com pico modal entre os diâmetros 76 a 194  $\mu\text{m}$ .

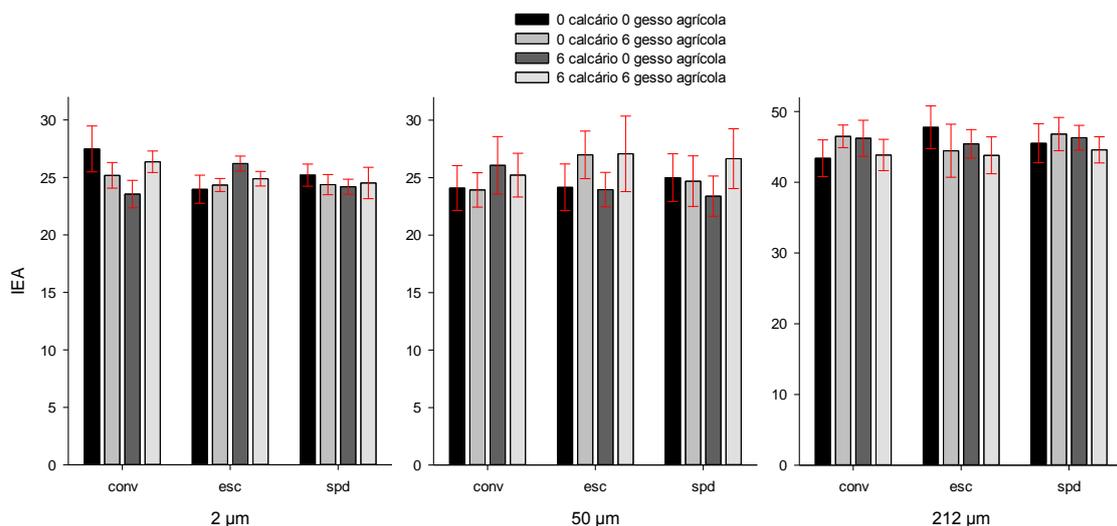


**Figura 1** – Curvas de distribuição do tamanho de partícula ( $\mu\text{m}$ ) para os agregados expostos à ação ultrassônica (Agregação sonificação) e agregação natural (Agregação natural) de microagregados (< 2 mm).

#### 4.3.1 Índice de Estabilidade de Agregados para a agregação natural do solo

A determinação do Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) pelo método de agregação natural (sem pré-tratamento das amostras) diagnosticou, para malha 2  $\mu\text{m}$ , que ocorre interação entre os manejos e os tratamentos (Figura 2). No sistema de manejo convencional, o tratamento sem aplicação de calcário e gesso apresenta o maior valor. Desta

forma, o tratamento testemunha no manejo convencional se mostra estatisticamente superior ao tratamento testemunha do manejo escarificado para a variável IEA (Figura 2). Para Mota et al. (2013), os sistemas de cultivo, por revolverem o solo, destroem os agregados e favorecem a oxidação da matéria orgânica, causando a redução desse agente cimentante. Esta desestruturação do solo, causada pelas práticas de manejo, resulta no maior IEA para o manejo convencional, onde o tratamento com aplicação de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário apresenta IEA menor do que os tratamentos sem aplicação de insumos e com aplicação de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e gesso agrícola. Contudo, no manejo escarificado, tem-se efeito contrário, onde o tratamento com aplicação de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário apresenta maior IEA, sendo superior aos tratamentos onde não foi aplicado calcário (Figura 2).



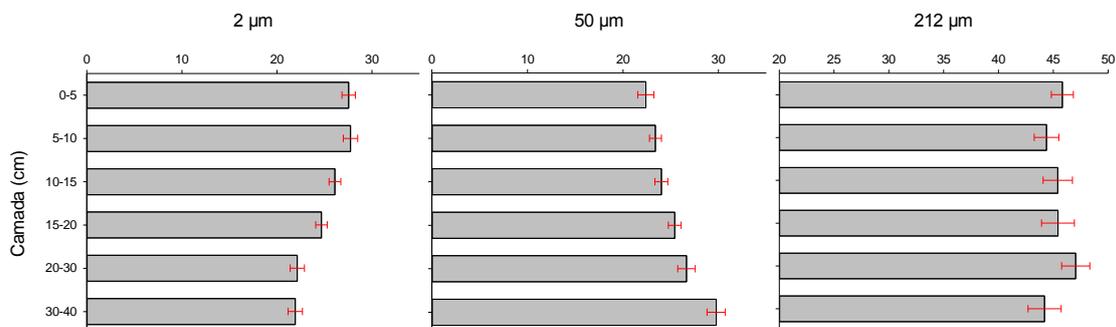
**Figura 2** – Índice de estabilidade de agregados (IEA) para fração com diâmetro 2µm, fração com diâmetro 50 µm e agregação para fração de diâmetro 212 µm em amostras de microagregados, sem pré-tratamento das amostras, nos tratamentos com aplicação de doses de cal

Para a fração de 50 µm, não se verifica diferenças significativas dos tratamentos dentro dos manejos de solo. Entretanto, é possível visualizar no manejo convencional que os tratamentos com aplicação de calcário apresentam maiores IEA. No manejo escarificado, esta superioridade se dá nos tratamentos onde se utilizou gesso agrícola. No SPD, o tratamento com aplicação de calcário e gesso agrícola apresenta maior IEA (Figura 2). Assim, é possível constatar que na fração de diâmetro de 50 µm, a aplicação de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário e gesso

agrícola, em sistema de manejo de solo escarificado, apresenta os maiores índices de agregação.

A fração de 212  $\mu\text{m}$  não apresenta diferença significativa entre os tratamentos e manejos, mesmo ocorrendo maiores valores de IEA para o manejo SPD quando comparado aos demais (Figura 2). Como no sistema de manejo SPD o revolvimento do solo é restrito à linha de semeadura, ocorre uma maior concentração da amostra na fração de 212  $\mu\text{m}$ .

Considerando o efeito em profundidade, na fração de diâmetro 2  $\mu\text{m}$ , tem-se diferença entre as camadas de 0 a 10 cm, 10 a 15 cm, 15 a 20 cm e a camada de 20 a 40 cm, sendo que as camadas mais profundas apresentam os menores índices de estabilidade de agregados (Figura 3). Isto se deve ao fato das camadas superficiais serem as mais afetadas pelas práticas agrícolas e pelos agentes erosivos (CREMON et al., 2009).

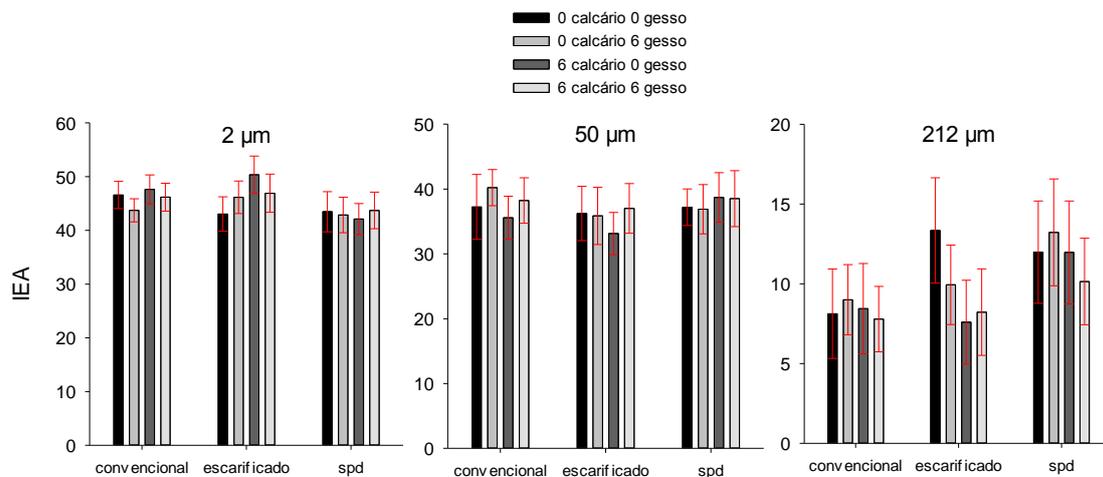


**Figura 3** – Índice de estabilidade de agregados para os três diâmetros de malha nas seis camadas do perfil do solo.

Analisando a fração de diâmetro 50  $\mu\text{m}$ , o IEA apresenta-se em profundidade de modo contrário ao verificado na fração inferior. Com o aprofundamento do perfil, tem-se um aumento nos valores de IEA. Na fração de diâmetro 212  $\mu\text{m}$ , ocorre uma menor distinção para o IEA entre as camadas do perfil (Figura 3). Contudo, é possível diagnosticar diferenças, onde as camadas de 5 a 10 e 30 a 40 cm são inferiores à camada de 20 a 30 cm e, nesta última, a agregação é superior.

#### 4.3.2 IEA para amostras expostas a ação de ultrassom

Quando as amostras foram submetidas ao estresse pela ação ultrassônica, ocorreu a desestruturação dos agregados, resultando em diminuição dos valores de IEA para a malha de 212  $\mu\text{m}$  e aumento dos valores de IEA para a malha de 2  $\mu\text{m}$  (figura 4).



**Figura 4** – Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) para fração com diâmetro 2  $\mu\text{m}$ , fração com diâmetro 50  $\mu\text{m}$  e agregação para fração de diâmetro 212  $\mu\text{m}$  em amostras de microagregados expostas à ação ultrassônica nos tratamentos com aplicação de doses de calcário.

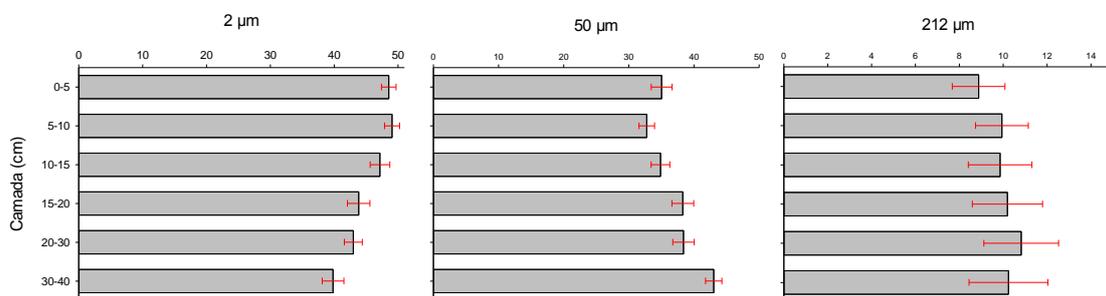
O IEA para a fração de diâmetro de 2  $\mu\text{m}$  apresentou efeito dos tratamentos no manejo escarificado, onde o tratamento com aplicação de 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário revela os maiores IEA, diferindo estatisticamente do tratamento sem aplicação de insumos. Nos manejos de solo convencional e SPD, não ocorreu efeito dos tratamentos. O tratamento com aplicação de 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário resultou nos maiores valores para o manejo convencional e escarificado, sendo menor no sistema SPD (Figura 4). Desta forma, pode ser diagnosticado o efeito do calcário, quando incorporado ao solo, como agente agregante, possibilitando maior resistência de agregados na menor fração de diâmetro analisada.

Na fração de 50  $\mu\text{m}$ , as amostras submetidas ao efeito do ultrassom diminuíram o volume de agregados. Não ocorreram diferenças significativas para os tratamentos e os manejos de solo. Contudo, é possível visualizar que o tratamento com aplicação de 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso agrícola apresenta o maior IEA para os manejos convencional e escarificado. Já no

manejo SPD, os tratamentos com  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário e  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário e gesso agrícola apresentaram os maiores valores (Figura 4), o que corrobora com os resultados encontrados por Cremon et al. (2009) e Olszewski et al. (2004). O gesso agrícola apresenta mobilidade no perfil do solo (CAIRES et al., 1999), possibilitando maior resistência dos agregados no sistema SPD, onde não há incorporação do calcário.

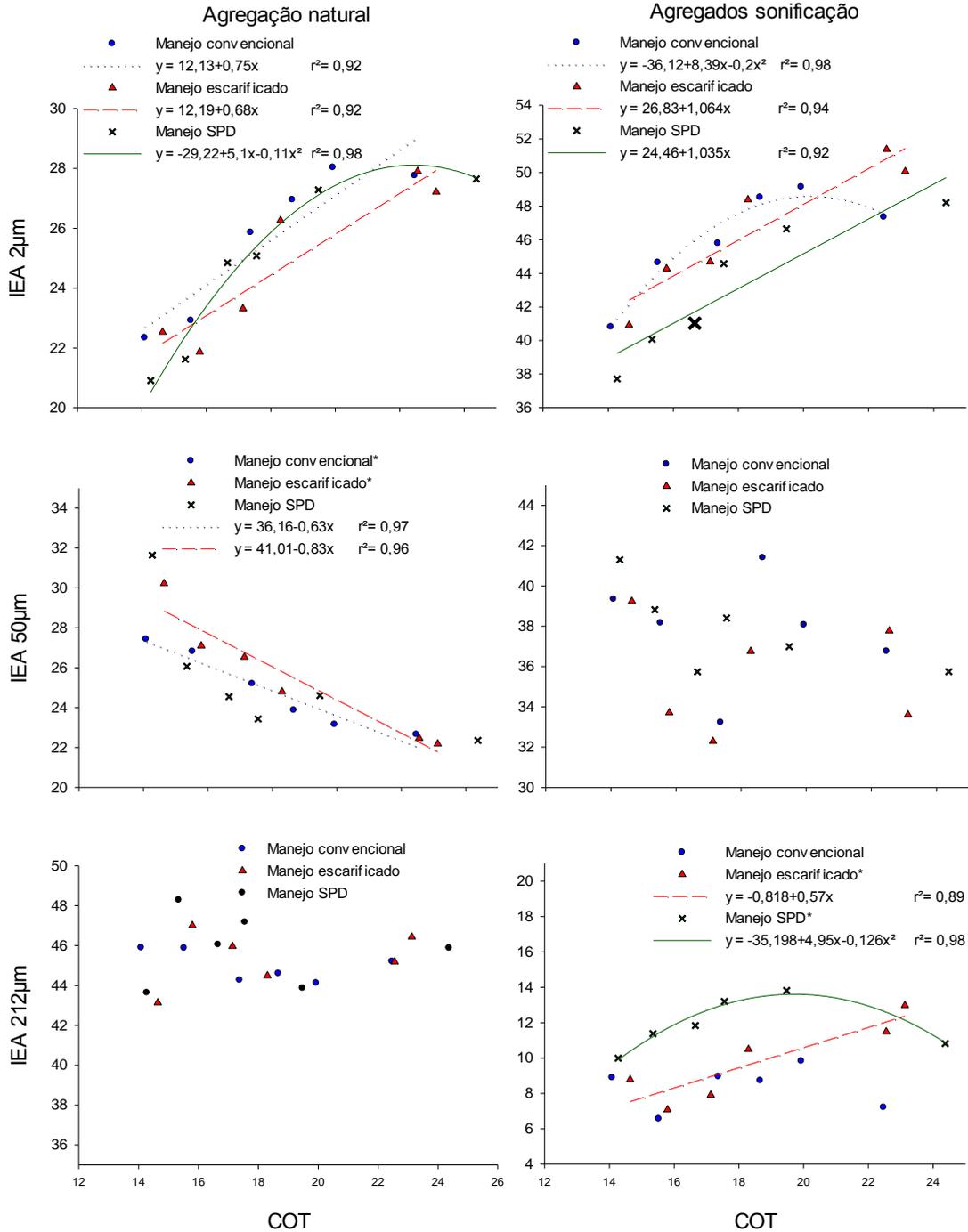
Devido à ação de desestruturação da sonificação aplicada nas amostras, houve diminuição dos valores de IEA para a fração de  $212 \mu\text{m}$  (Figura 4). Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos e manejos de solo. Contudo, é possível visualizar para esta fração de maior diâmetro que a aplicação de  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário e gesso agrícola não teve efeito sobre a resistência dos agregados. No sistema de manejo convencional, os valores de IEA foram menores, expressando a fragilidade destes agregados a ações degradantes.

O efeito do IEA nas camadas do perfil estudadas para as amostras sob ação ultrassônica apresentam diferença estatística para as frações de  $2$  e  $50 \mu\text{m}$ , conforme ilustra a figura 5. Na malha de diâmetro  $2 \mu\text{m}$ , a camada de  $0$  a  $15 \text{ cm}$  apresenta os maiores valores de IEA, ocorrendo diminuição gradativa destes valores para as camadas mais profundas do perfil, diferindo estatisticamente a camada de  $0$  a  $15 \text{ cm}$  para a de  $20$  a  $40 \text{ cm}$ . Porém, na malha de diâmetro  $50 \mu\text{m}$ , a distribuição do IEA no perfil do solo ocorre de maneira oposta a fração inferior, onde a camada de  $5$  a  $10 \text{ cm}$  apresenta valores de IEA inferiores a camada de  $15$  a  $40 \text{ cm}$ . Analisando a fração de  $212 \mu\text{m}$ , não ocorrem alterações do IEA no perfil do solo (Figura 5).



**Figura 5** – Índice de estabilidade de agregados para as malhas com diâmetro  $\leq 2 \mu\text{m}$ ,  $\leq 50 \mu\text{m}$  e  $\leq 212 \mu\text{m}$ , nas seis camadas do perfil do solo.

Este efeito de diminuição do IEA em profundidade do perfil do solo está diretamente ligado aos teores de Carbono Orgânico Total (C.O.T.), que pode ser visualizado nas correlações entre as frações de IEA e o COT da figura 6.



**Figura 6** – Correlação entre o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) em função do Carbono Orgânico Total (COT) nas três frações analisadas (2  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$  e 212  $\mu\text{m}$ ) em amostras de agregados com diâmetro de 1 a 2 mm com e sem exposição à sonificação.

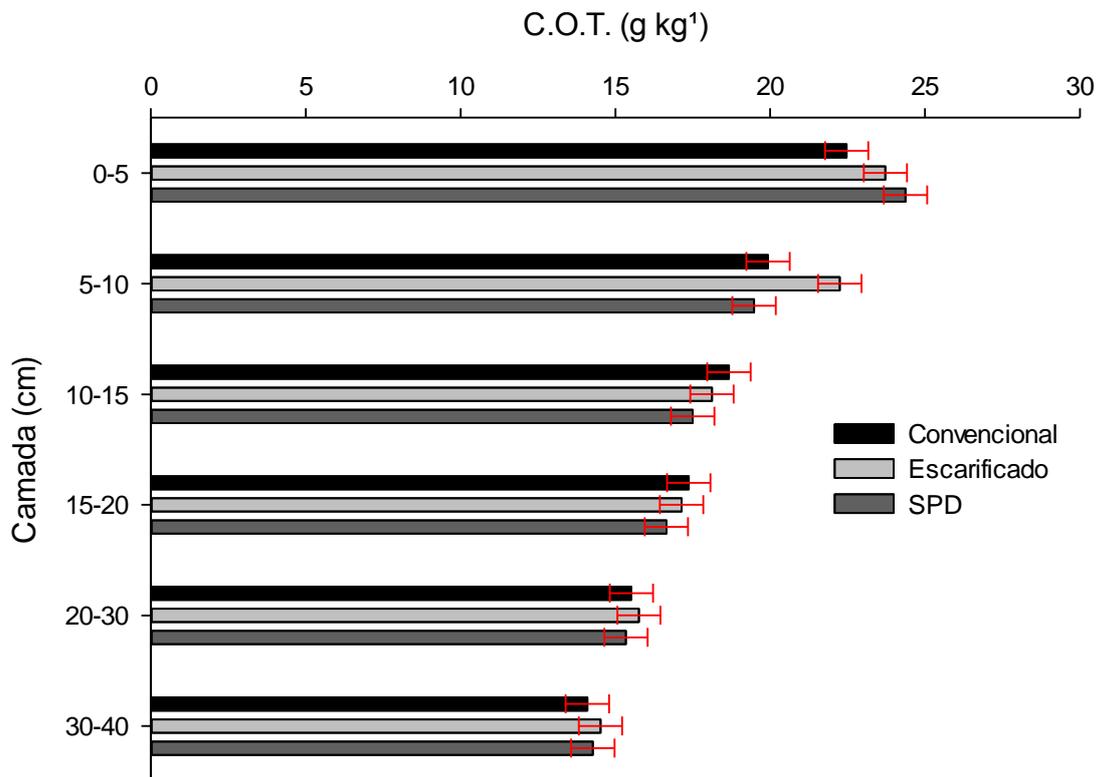
A interação entre o índice de estabilidade de agregados e o Carbono Orgânico Total na fração de 2  $\mu\text{m}$  apresenta-se como crescente para as seis camadas do solo (Figura 6). No manejo convencional e escarificado, a equação representativa da interação IEAxCOT entre as camadas é tipo polinomial linear representada por  $f = y_0 + a \cdot x$ . Já para o manejo SPD, a equação representativa é do tipo polinomial quadrática, representada por  $f = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2$ . Desta forma, verifica-se que a diminuição do IEA na fração de 2  $\mu\text{m}$  no aprofundamento das camadas do perfil do solo podem ser atribuídas a diminuição dos níveis de COT. Gao et al. (2008), estudando o efeito de COT em diferentes manejos de solo, observaram correlação linear positiva entre o aumento do conteúdo de Carbono Orgânico Total e a quantidade de agregados com diâmetro entre 0,25 a 2 mm.

Por outro lado, para a fração de 50  $\mu\text{m}$ , na condição de agregação natural, os manejos apresentam interação negativa para o IEA e o COT, onde ocorre diminuição dos teores de carbono e, simultaneamente, o aumento do índice de agregação no perfil do solo

Na fração de 212  $\mu\text{m}$ , as amostras expostas à sonificação apresentam interação para os manejos de solo escarificado e SPD, onde as equações representam a diminuição dos índices de agregação em função da diminuição dos níveis de carbono (Figura 6).

#### 4.3.3 Carbono Orgânico Total

É possível visualizar que ocorrem diferenças significativas para os manejos de solo nas profundidades analisadas. Na camada de 0 a 5 cm, o manejo SPD apresenta os maiores valores de COT, diferindo estatisticamente do manejo convencional (Figura 7). Esta variação pode ocorrer pelo acúmulo de material orgânico na superfície, sem que permita a incorporação deste material pelas práticas de manejo de solo. Wang et al. (2013) observaram aumento de 9,1% nos teores de COT para solos em SPD quando comparado ao sistema convencional. Briedis et al. (2012) observam que o aumento do carbono na camada superficial do solo é potencializado pela aplicação de calcário na superfície, sendo este responsável pelo maior desenvolvimento de raízes e biomassa aérea, que é mantida na superfície pelo sistema de cultivo SPD. É visível também que é na camada de 0 a 5 cm onde concentram-se os maiores valores de COT. Este maior acúmulo de carbono na camada superficial do solo é justificado por Santos et al. (2011), que apontam a presença de raízes das culturas, onde 27 a 37% da entrada de carbono no solo vem através das raízes.



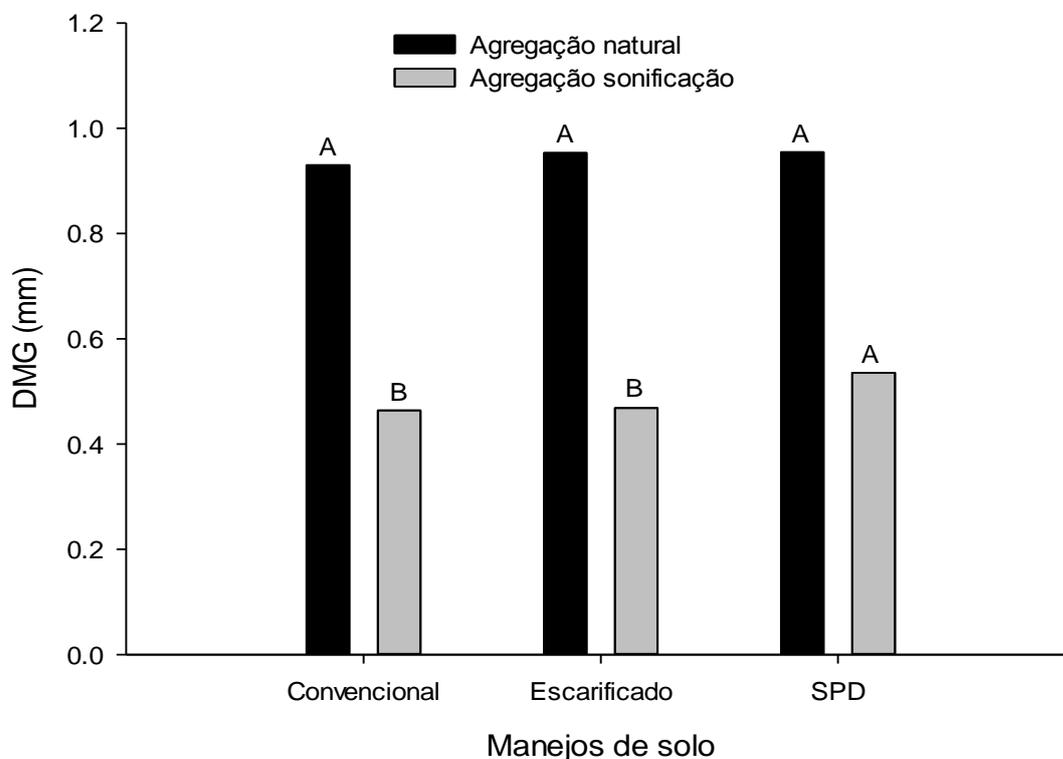
**Figura 7** – Distribuição dos teores de Carbono Orgânico Total (C.O.T.) para os três manejos de solo nas seis camadas do perfil de solo.

Na camada de 5-10 cm, o manejo escarificado do solo mostra-se superior aos demais (Figura 7). Isto pode ocorrer devido à ação da haste do escarificador no solo. No momento em que este age rompendo a estrutura do solo, ocorre a incorporação de parte do material orgânico na profundidade subsuperficial.

É possível verificar na camada de 10 a 20 cm de profundidade o efeito da gradagem, realizada no sistema de cultivo convencional. Este foi responsável pela incorporação do material orgânico presente na superfície do solo até a profundidade de ação da grade (20 cm). Na camada de 20 a 40 cm, atua o efeito da haste do escarificador, que rompeu a estrutura do solo e formou uma galeria, facilitando o movimento das frações orgânicas da superfície para esta profundidade.

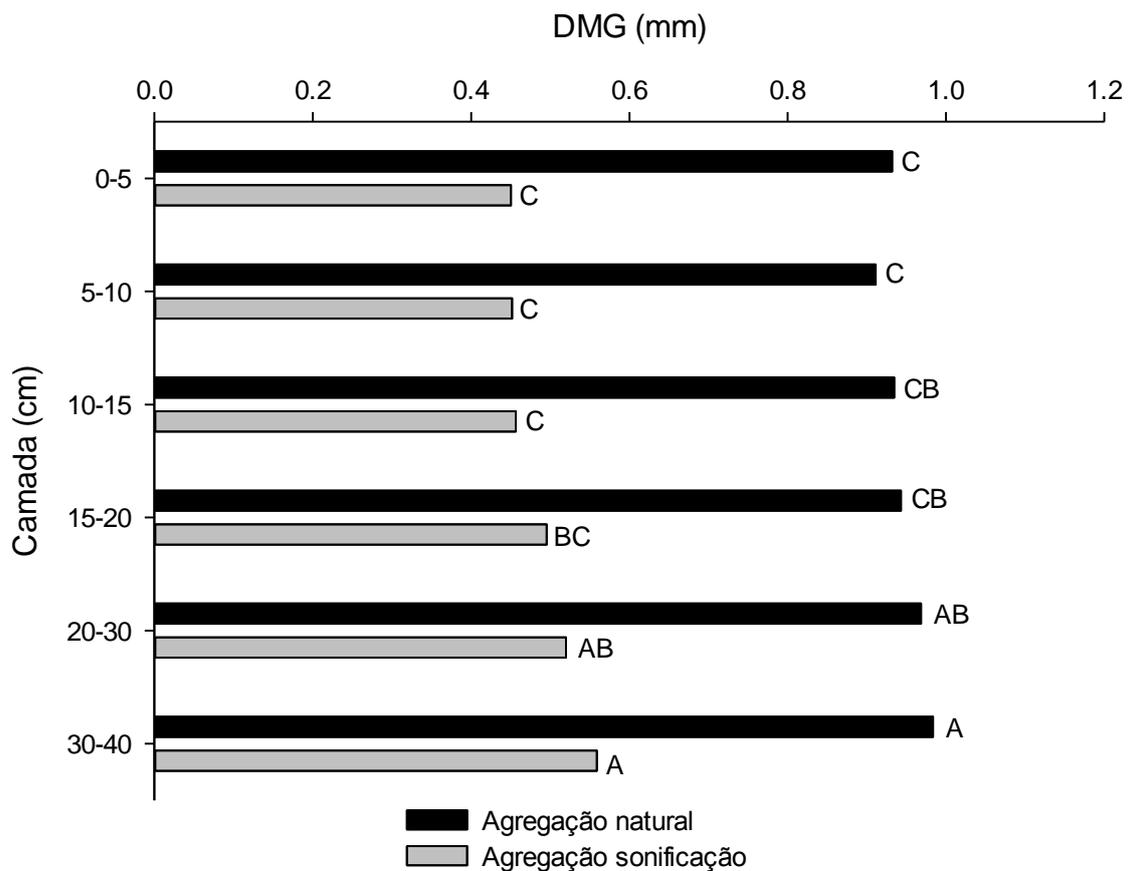
#### 4.3.4 Diâmetro Médio Geométrico

A análise do Diâmetro Médio Geométrico (DMG) apresentou variação para os manejos de solo e para as profundidades. Analisando o efeito das operações de intervenções por práticas de manejo de solo, para as amostras sem pré-tratamento, não houve diferença significativa entre os manejos (Figura 8). Já para as amostras que foram submetidas à ação ultrassônica, o SPD apresentou maior valor de DMG em relação aos demais. Cremon et al. (2009) realizaram análise micromorfométrica de agregados em Latossolo Vermelho e verificaram que o sistema de cultivo SPD apresentou agregados de área maior. A inferioridade dos manejos convencional e escarificado se dá pela desestruturação do solo na implantação do experimento, promovidas pela ação dos implementos utilizados para revolver e manejar o solo. Liu et al. (2014) destacam que solos agricultáveis apresentam diminuição nos índices de agregação, onde os manejos com maior intensidade de práticas de preparo de solo, como o manejo convencional, apresentam maior desestruturação.



**Figura 8** – Diâmetro Médio Geométrico (DMG) para microagregados com exposição à ação ultrassônica e sem pré-tratamento das amostras nos três manejos de solo.

O DMG dos agregados sem pré-tratamento apresenta-se variável no perfil do solo (Figura 9). A camada de 0-10 cm difere estatisticamente da camada de 20-40 cm, sendo que a camada mais profunda expressa os maiores valores. Para as amostras com exposição à ação ultrassônica, o DMG tem o mesmo comportamento em profundidades, onde a camada de 0-15 difere da camada de 20-40 cm.



**Figura 9** – Distribuição do DMG no perfil do solo para as amostras de microagregados com e sem exposição à ação ultrassônica.

#### 4.4 Conclusões

O manejo do solo altera a agregação e a resistência de agregados ao estresse por ultrassons.

O cálcio introduzido ao solo por gesso ou calcário mostra-se diferente na agregação e na resistência de agregados ao estresse por ultrassons.

As menores frações de agregados são mais sensíveis em diagnosticar as alterações na estrutura do solo, discriminado pelo Índice de Estabilidade de Agregados.

#### 4.5 Referências Bibliográficas

AN, S., MENTLER, A.; MAYER, H. BLUM; W. E. H. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 81, p. 226-233, 2010.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in projecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 697-710, 2000.

BAYER, C. et al. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATINONI, L.C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, v. VII, 2011. cap. 2, p. 55-118.

BORTOLUZZI, E. C. et al. Aggregation of subtropical soil under liming: a study using laser diffraction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 725-734, 2010.

BRIEDIS, C. et al. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v. 170, p. 80-88, 2012.

BRONICK, C. J.; LA, R., Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3-22, 2005.

BURAK, D. L.; FONTES, M. P. F.; BECQUER, T. Microagregados estáveis e reserva de nutrientes em latossolo vermelho sob pastagem em região de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, p. 229-241, 2011.

CAIRES, E.F. 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**, v. 23, p.315-327, 1999.

CASTILHO, J. A. F.; NAVIA, J. F. E.; MENJIVAR, J. C. F. Estimación de La estabilidad estructural de dos suelos al sur de Colômbia con diferentes tipos de manejo. **Acta Agronómica**, v. 57, p. 31-34, 2008.

CHRISTENSEN, B.T., Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. In: **Advances in Soil Science** (Ed. B.A. Steward). Springer Verlag, New York, v. 20, p. 2-90, 1992.

CREMON, C. et al. Análise micromorfométrica de agregados de um Latossolo vermelho distroférico em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p.139-146, 2009.

FERREIRA, A.O. et al. Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul. **Ciencia del suelo**, v. 31, p. 1-13, 2013.

GAJDA, A.M.; PRZEWLOKA, B.; GAWRYJOLEK, K. Changes in soil quality associated with tillage system applied. *Int. Agrophys*, v. 27, p. 133-141, 2013.

GAO, M. et al. Effect of tillage system on distribution of aggregates and organic carbon in a hydric anthrosol. **Pedosphere**, v. 18, n. 5, p. 574-581, 2008.

GODDARD, T. et al. **No-Till Farming Systems**. World Association of Soil and Water Conservation, 2008. Special Publication n.3

GREGORICH E.G.; KACHANOSKI R.G.; VORONEY R.P. Ultrasonic dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 68, p. 395-403, 1988.

HOLLENDER, U. et al. **Messungen der Bodenatmung im Zusammenhang mit der Aggregatstabilität am Beispiel dreier unterschiedlicher Bodenbearbeitungsvarianten**. Poster der Lehrveranstaltung LVA. 911311. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Dept. of Forest and Soil Sciences, 2005.

HUSNJAK, S.; FILIPOVIC, D.; KOSUTIC, S. Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. **Rostlinná Výroba**, v. 48, p. 249-254, 2002.

KASPER, M. et al. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. **Soil & Tillage Research**, v. 105, p. 192-199, 2009.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E., eds. **Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement**

**and sampling.** Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510. (Agronomy Series, 9)

LIU, M.-Y. et al. Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China. **Catena**, v. 115, p. 19-28, 2014.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, p. 141-150, 2000.

MAYER, L. M. et al., Mineral associations and nutritional quality of organic matter in shelf and upper slope sediments off Cape Hatteras, USA: a case of unusually high loading. **Deep-Sea Research Part II – Topical Studies in Oceanography**, v.49, p. 4587-4597, 2002.

MENTLER, A., MAYER, H., STRAUß, P., BLUM, W.E.H. Characterization of soil aggregate stability by ultrasonic dispersion. **International Agrophysics**, v. 18 p. 39-45, 2004.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37; p. 1196-1206, 2013.

NORTH P. F. Towards the absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. **J. Soil Science**, v. 27; p. 451-459, 1976.

NORTH P. F. Rothamsted studies of soil structure VI. Assessment of the ultrasonic method of determining soil structural stability in relation to soil management properties. **J. Soil Science**, v. 30; p. 463-472, 1979.

OLSZEWSKI, N. et al. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28; p. 901-909, 2004.

PIERI, L.; BITTELLI, M.; PISA, P. R. Laser diffraction, transmission electron microscopy and image analysis to evaluate a bimodal Gaussian model for particle size distribution in soils. **Geoderma**, v. 135, p. 118-132, 2006.

POLETO, C.; BORTOLUZZI, E. C.; MERTEN, G. H. Uso de ultra-som como pré-tratamento de amostras de sedimento fluvial em difratometria laser. In: MERTEN, G. H.; POLETO, C.; BORGES, A. L. O. orgs. **Sedimentos: O desafio da multidisciplinaridade**. Porto Alegre, ABRH, 2007. p. 51-66.

PYE, K.; BLOTT, S. J. Particle size analysis of sediments, soils and related particulate materials for forensic purposes using laser granulometry. **Forensic Science International**, v. 144, p. 19-27, 2004.

RAINE, S. R. & SO, B. An energy based parameter for the assessment of aggregate bond energy. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.44, n.2, p. 249-259, 1993.

ROSA JÚNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 37-44, 2006.

ROSNER, J.; ZWATZ, E.; KILK, A. **Minimalbodenbearbeitung und Erosionsschutz in Niederösterreich**. ALVA Jahrestagung zum Thema: Klimawandel-Auswirkungen auf Umwelt and Agrarproduktion, p. 191-194, 2004.

SÁ, M. A. C. de. et al. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1825-1834, 2000.

SÁ, M. A. C. de; LIMA, J. M. de; MELLO, C. R. de. Nível de energia ultra-sônica para o estudo da estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1649-1655, 2002.

SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, p. 576-586, 2008.

SANTOS, H. G. dos. et al. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SANTOS, N. Z. et al. Forages, cover crops and relate shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. **Soil Tillage Research**, v. 111, p. 208-218, 2011.

SCHULZ, F. **Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung**. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.) am Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen 2012.

SHAVER, T. et al. Surface Soil properties after twelve years of dryland no-till management. **Soil Science Society of America**, v. 66, p. 1296-1303, 2002.

SIX, J., BOSSUYT, H., DEGRYZE, S. & DENEFF, K., A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, v. 79, p. 7-31, 2004.

SLAWINSKI, C.; SOKOLOWSKA, Z.; WALCZAK, R.; BORÓWKO, M.; SOKOLOWSKI, S. Fractal dimension of peat soils from adsorption and from water retention experiments. **Colloids Surf**, v. 208, p. 289-301, 2002.

SOUZA, F. R. et al. Morphology and stability of aggregates of an Oxisol according to tillage system and gypsum application. **Revista Ceres**, v. 59, p. 859-866, 2012.

SPIEGEL, H.; MENTLER, A. Effects on Aggregate Stability and P-contents under different tillage systems. Poster der Fachgruppe Boden und Fachgruppe Düngemittel. ALVA Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher versuchsanstalten, Jahrestagung. p. 216-217, 2003.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N. S. & STEWART, B. A., eds. Subsoil management techniques. Athens, GA, **Lewis Publishers**, 1995. p. 147-185.

TRUMAN, C. C. et al. Feasibility of using FGD gypsum to conserve water and reduce erosion from an agricultural soil in Georgia. **Catena**, v. 81, p. 234-239, 2010.

WANG, G.-C. et al. Contrasting effects of agricultural management on soil organic carbon balance in different agricultural regions of China. **Pedosphere**, v. 23, n. 6, p. 717-728, 2013.

WESTERHOF, R. et al. Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the Cerrado region in Brazil. **Geoderma**, v. 90, p. 277-290, 1999.

YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, p.1467-1476, 1988.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão da agricultura do Sul para as regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil tem se destacado nas últimas décadas. Com predominância de solos profundos, a mecanização destas áreas é facilitada. Contudo, o sistema radicular das culturas encontra dificuldades para se desenvolver até maiores profundidades do perfil, visto que ocorrem camadas com níveis elevados de alumínio, a ponto de causar toxidez para as plantas. Desta forma, quando realizam as operações de incorporação de calcário, uma vez que os solos desta região apresentam problemas de acidez (SOUSA e LOBATO, 2004), os produtores têm adotado a prática da gessagem como uma ferramenta para correção da toxidez por Al no perfil do solo.

O gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é classificado como um produto condicionador de solo, apresentando alta mobilidade no perfil e disponibilizando o íon  $\text{Ca}^{+2}$ , que reage no solo liberando o  $\text{SO}_4^{-2}$  para ligar-se com o  $\text{Al}^{+3}$  do solo e ser lixiviado. Isto reduz a saturação de  $\text{Al}^{+3}$  em profundidade (ALCARDE; RODELLA, 2003; BROCH et al., 2008; MASCHIETTO, 2009). Assim, forma-se um ambiente mais profundo para o desenvolvimento radicular, importante para os períodos onde ocorre a diminuição das chuvas.

Diante do exposto, a prática da gessagem também está sendo adotada por produtores do Rio Grande do Sul. O objetivo não é o de eliminar camadas de toxidez por alumínio, mas sim, sob a hipótese de que este gesso, aplicado na superfície dos Latossolos Vermelho com textura argilosa e há anos sob plantio direto, proporcionar maior volume de solo para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, as quais apresentam diminuição de produtividade devido aos “veranicos” que tem sido frequentes no estado (MATZENAUER et al., 2002; BERLATO & FONTANA, 2003).

Neste contexto, realizamos as três operações de manejo de solo em um Latossolo Vermelho com textura argilosa, onde as doses de calcário foram, em parte, incorporadas ao solo. O gesso agrícola foi implantado na superfície do solo, a fim de diagnosticar sua movimentação nos diferentes manejos do solo. Após três anos das operações de preparo do solo e aplicações dos tratamentos, foi possível verificar alterações nos parâmetros físicos do solo. A macroporosidade do solo foi alterada, sendo que houve diminuição dos macroporos com a calagem e gessagem.

Através da análise da área sem operação de preparo do solo, que permaneceu com sistema de plantio direto contínuo, é possível verificar que ocorre a formação de uma camada

de compactação do solo, localizada na faixa de 10 a 20 cm de profundidade. A formação desta camada no sistema de plantio direto é verificada por diversos pesquisadores, que atribuem o tráfego de máquinas agrícolas nas diversas operações de manejo da área e tratos culturais como responsáveis por este adensamento das partículas do solo.

Todavia, a operação de escarificação, realizada para incorporar parte do calcário, foi eficiente para diminuir os valores de resistência à penetração na camada diagnosticada como problemática. Isto possibilitou um ambiente, até a camada de 20 cm, cuja resistência ao desenvolvimento do sistema radicular foi menor.

A calagem e a gessagem influenciaram a agregação do solo, que foi determinada através de seus parâmetros DMG e DMP. No local onde a operação de aração do solo foi realizada, o gesso apresentou efeito de aumento na agregação do solo até a profundidade de 15 cm. A área que foi submetida à escarificação apresentou níveis de agregação maiores até a profundidade de 10 cm, devido às doses de gesso. Estes resultados apontam que a aplicação de gesso, na superfície do solo revolvido, atua até a profundidade destacada anteriormente como a camada compactada do solo. Desta forma, quando o solo apresentar camadas compactadas e a maneira de solucionar este problema escolhida pelo produtor for através de operações agrícolas de revolvimento do solo, a gessagem se mostra, três anos após a aplicação superficial, com efeitos satisfatórios até a profundidade de 15 cm.

Para uma avaliação mais detalhada do efeito da calagem e gessagem na estrutura do solo, foram analisados microagregados, com diâmetro entre 1 e 2 mm. Após a análise em aparelho de difração a laser, as amostras foram avaliadas em diferentes frações de agregados, onde foi possível diagnosticar que as menores frações de agregados são mais sensíveis em expressar se os fatores que estão sendo induzidos àquela fração de solo estão atuando na dispersão ou na floculação das partículas. Desta forma, foi verificado que a ação dos elementos aplicados no solo ocorre nos microagregados, que posteriormente vão se unir e formar agregados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; et al., Eds. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 291-334, 2003.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. V. H.; CORRÊA, M. M. & COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.21-31, 2005.

BAYER, C. et al., Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed). **Tópicos em ciência do solo**. Voçosa: editora, v.VII, cap.2, p.55-118, 2011.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul. Aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003. 110 p.

BLUM, J., CAIRES, E. F., AYUB, R. A., FONSECA, A., SOZIM, M., FAUATE, M., Soil chemical attributes and grape yield as affected by gypsum application in Southern Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.42, p.1434-1443, 2011.

BLUM, S.C., CAIRES, E.F., ALLEONI, L.R.F., Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.13, n.2, p.279-300, 2013.

BOXBERGER, J.; MIOTZI, G.; SCHILICHTNER, H.; WAGENTRISTL, H. Produktionskosten und Erträge bei Anwendung alternative Bodenbearbeitungsstrategien. **Wintertagung – Ackerbautag II Hollabrunn**, p.1-7, 2005.

BRANDÃO, E. D. & da SILVA, I. de F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo vermelho. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p. 1193-1199, 2012.

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

BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil Structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3-22, 2005.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24:161-169, 2000.

CAIRES, E.F.; BLUM, J., BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23:315-327, 2003.

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

CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, J. C. & CRUSCIOL, C. A. C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p.1690-1698, 2011.

COSTA, M. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos físicos de um Latossolo sendo influenciado pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, p. 701-708, 2007.

FERREIRA, A. de O. et al. Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul. **Ciencia Del Suelo**, v. 31, n. 1, p. 1-13, 2013.

HUSNJAK, S.; FILIPOVIC, D.; KOSUTIC, S. Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. **Rostlinná Výroba**, v. 48, n. 6, p. 249-254, 2002.

JACOBS, A.; RAUBER, R.; LUDWIG, B. Impact of reduced tillage on carbon and nitrogen storage of two Hapic Luvisols after 40 years. **Soil and Tillage Research**, v. 102, p. 158-164, 2009.

KASPER, M.; BUCHAN, G. D.; MENTLER, A.; BLUM, W. E. H. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. **Soil and Tillage Research**, v. 105, p. 192-199, 2009.

KÖGEL-KNABNER, I.; LÜTZOW, M. Carbon. **Forschung**, v. 30, p. 33-35, 2005.

MÄDER, P. et al. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, v. 296, p. 1694-1697, 2002.

MANGALASSERY, S.; SJÖGERSTEN, S.; SPARKES, D. L.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of greenhouse gases. **Soil and Tillage Research**, v. 132, p. 39-46, 2013.

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

MATZENAUER, R.; et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10).

NARAMABUYE, F. X.; HAYNES, R. J. Effect of organic amendments on soil pH and Al solubility and use of laboratory indices to predict their liming effect. **Soil Science Society of America Journal**, v. 171, p. 754-763, 2006.

PLAZA-BONILLA, D.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; VIÑAS, P.; ÁLVARO-FUENTES, J. Soil aggregation and organic carbon protection in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions. **Geoderma**, v. 193-194, p. 76-82, 2013.

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. **Revista Biociência**, v. 9, p. 7-16, 2003.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233p.

RAMPAZZO, N. et al., Influence of microbiological activity on soil aggregate stability. **International Agrophysics**, v. 9, p. 125-129, 1995.

ROSA JÚNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 37-44, 2006.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I, Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 681-689, 2000.

SOUSA, D. M.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416 p.

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

TISDALL, J. M. & OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

VITTI, C. G.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008. 104p.

VON LÜTZOW, M. et al. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model, **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, p. 111-124, 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 de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 37, p. 110-117, 2007.

ZHANG, X. C.; NORTON, L. D. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. **Journal Hydrology**, v. 260, p. 194-205, 2002.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil and Tillage Research**, v. 95, p. 196-206, 2007.