

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE AGRONOMIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

JOAQUIM JOSÉ SCARIOT

**INFLUÊNCIA DO GESSO AGRÍCOLA EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO
SOLO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

DOIS VIZINHOS

2016

JOAQUIM JOSÉ SCARIOT

**INFLUÊNCIA DO GESSO AGRÍCOLA EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO
SOLO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Manejo da Fertilidade do Solo, com Ênfase em Agricultura de Precisão Aplicada ao Manejo da Fertilidade do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Casali

DOIS VIZINHOS

2016



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Coordenação de Agronomia
Curso de Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo**



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia n° 001

Influência do gesso agrícola em atributos físicos do solo

por

Joaquim José Scariot

Monografia apresentada às vinte horas do dia dezanove de dezembro de dois mil e dezesseis, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Manejo da Fertilidade do Solo, com Ênfase em Agricultura de Precisão Aplicada ao Manejo da Fertilidade do Solo, Curso de Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Examinadora:

Prof. Msc André Pellegrini

Prof. Dr. Adalberto Luis de Paula

**Prof. Dr Carlos Alberto Casali
Orientador**

**Prof. Dr. Carlos Alberto Casali
Coordenador do Curso**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo.

RESUMO

SCARIOT, Joaquim José. **Influência do gesso agrícola em atributos físicos do solo.** 2016. 30f. Monografia (Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo) – Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

A compactação na camada superficial do solo, sob plantio direto inadequado, limita o desenvolvimento e a produtividade das culturas, sobretudo em situações de restrição hídrica, pois diminui a macroporosidade do solo e restringe o crescimento radicular das plantas. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de gesso agrícola em atributos físicos do solo sob sistema plantio direto. O experimento foi implantado em junho de 2015 no município de São João-PR, Sudoeste do PR, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto a mais de oito anos, com delineamento experimental em blocos ao acaso com quatro repetições e unidades experimentais de 14,0 x 8,33 m. Aplicaram-se a lanço, na superfície do solo, as doses de gesso agrícola 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 Mg ha⁻¹. Após, cultivou-se trigo e em sequência soja. Em março de 2016, coletaram-se amostras de solo com estrutura preservada nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade, determinando-se a densidade, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade do solo. O uso de doses crescentes de gesso agrícola reduziu a densidade do solo na profundidade de 0-0,05 m, nove meses após a aplicação. Os maiores valores de macroporosidade foram observados na dose de 10 Mg ha⁻¹ de gesso nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m.

Palavras-chave: Déficit hídrico, porosidade do solo, densidade do solo.

ABSTRACT

SCARIOT, Joaquim José. **Influence of agricultural gypsum on soil physical attributes**. 2016. 30f. Monografia (Especialização em Manejo da Fertilidade do Solo) – Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

Soil compaction under inadequate no-tillage limits the development and productivity of crops, especially in situations of water restriction, because it reduces the macroporosity of the soil and restricts the root growth of the plants. The work objective was to evaluate the effect of the gypsum application on soil physical attributes under no-tillage system. The experiment was carried out in São João, Southwest of Paraná state, Brazil, in June 2015, in a Latossolo Vermelho (Oxisol) under no-tillage for more than eight years, with a randomized block experimental design with four replicates and experimental units of 14,0 x 8,33 m. The treatments, consisting of five doses of gypsum 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 Mg ha⁻¹, applied to hauls, on the surface of the soil. Afterwards, it cultivated wheat and in sequence soybean. In March 2016, were collected samples of soil with undisturbed structure in the layers of 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 and 0,20-0,30 m depth, determining the density, total porosity, macroporosity and soil microporosity. Nine months after application, the use of increasing doses of gypsum reduced the soil density to 0-0,05 m depth. The highest levels of macroporosity were observed with 10 Mg ha⁻¹ of gypsum at depths of 0,05-0,10 and 0,10-0,15 m.

Key words: Water deficit, soil porosity, soil density.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeito da compactação na curva de retenção de água de um solo franco-arenoso.....	14
Figura 2 – A) Momento da implantação do experimento, aplicação das doses de gesso agrícola. B) Vista das parcelas experimentais após a aplicação dos tratamentos, São João, PR, junho de 2015.....	18
Figura 3 – Precipitação pluviométrica no período experimental, de junho de 2015 a fevereiro de 2016, São João, PR.	19
Figura 4 – Densidade do solo (Mg m^{-3}) na profundidade de 0,00-0,05 m, em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.....	22
Figura 5 – A) Macroporos (%) do solo e B) Microporos (%) do solo, na profundidade de 0,05-0,10 m, em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.....	24
Figura 6 – Macroporos (%) do solo na profundidade de 0,10-0,15 m, em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadrado médio das fontes de variação para as variáveis Macroporos (MaP), Microporos (MiP), Porosidade Total (PT) e Densidade do Solo (Ds), em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.....21

Tabela 2 – Médias dos tratamentos para as variáveis Macroporos (MaP), Microporos (MiP), Porosidade Total (PT) e Densidade do Solo (Ds), em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	11
2.1.1 Influência da Compactação na Água do Solo.....	12
2.2 GESSO NA AGRICULTURA.....	15
2.3 INFLUÊNCIA DA GESSAGEM NAS CONDIÇÕES FÍSICAS DO SOLO	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5 CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência frequente de déficit hídrico durante o ciclo das culturas, em função da distribuição irregular das chuvas, gera prejuízos econômicos e transtornos aos agricultores. Este problema pode ser agravado por alterações nas condições físicas do solo, em especial a compactação das camadas sub superficiais, que tende a diminuir a capacidade de infiltração de água no solo e aumentar a força de retenção de água armazenada, reduzindo assim a quantidade de água disponível às plantas.

A compactação do solo determina as relações entre ar, água e temperatura, e estas influenciam a germinação, a brotação e a emergência das plantas, o crescimento radicular e, praticamente, todas as fases de seu desenvolvimento (Letey, 1985; Camargo; Alleoni, 1997). As alterações nas propriedades físicas, de importância agrônômica, em solos compactados, relacionam-se com aumento da resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e nutrientes. Um desses fatores pode se tornar restritivo ao desenvolvimento das plantas, em um determinado tempo e local, a depender do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estágio de desenvolvimento da planta (Camargo; Alleoni, 1997).

Com o intuito de buscar melhorias diretas nas condições químicas (Caires, 2003; Pessoni, 2012; Pauletti et al., 2014) e físicas do solo (Bertollo, 2014; Michalovicz, 2016), auxiliando para o aumento da produção de grãos, vários pesquisadores estão avaliando a utilização de gesso agrícola. Por apresentar boa solubilidade, quando aplicado na superfície, o gesso movimentam-se no perfil através da infiltração da água, na sub superfície, proporciona aumento na concentração de cálcio (Ca^{2+}) e redução da toxicidade de alumínio (Al^{3+}), devido a ligação do Al^{3+} com o sulfato (SO_4^{-2}) do gesso (Raij, 2008).

As melhorias nas condições químicas do perfil do solo, influenciam o maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas em profundidade, permitindo maior eficiência na absorção de água e nutrientes, para seu crescimento e desenvolvimento

(Caires, 2003), garantindo maior suprimento de água às plantas, devido a maior área de solo explorada pelas raízes, apresentando maior resistência a épocas de estiagem.

Porém, a maior parte dos estudos está voltado aos efeitos na química do solo, e são bem recentes e escassos os estudos que avaliam as condições físicas do solo (Bertollo, 2014). O maior desenvolvimento das raízes em profundidade acaba por influenciar positivamente, também nas condições físico-hídricas do solo, melhorando a sua porosidade (Raij, 2008). A adição de cálcio afeta diretamente as condições físicas do solo, melhorando sua estrutura, devido a formação de ligações entre a argila e carbono orgânico, diminuindo a resistência tênsil do solo e os impactos negativos do tráfego de máquinas no solo (Michalovicz, 2016).

Ademais, está sendo amplamente estudada a recomendação da melhor dose do gesso que aumente a produtividade das culturas, pois para cada tipo de solo e cultura as respostas de produtividade relacionadas a utilização do gesso são diferentes (Caires, 2003; Raij, 2008; Pessoni, 2012; Pauletti et al., 2014; Bertollo, 2014; Michalovicz, 2016), havendo necessidade de estudos regionais para levantar mais informações acerca da recomendação de doses econômicas deste produto para que hajam bons resultados (Pessoni, 2012).

Tendo em vista a importância da qualidade física do solo para a produtividade das culturas e os possíveis efeitos que a aplicação de gesso agrícola pode ter sobre atributos físicos, torna-se necessária a realização de estudos quanto a influência do gesso agrícola nas propriedades físicas do solo na Região Sudoeste do Paraná. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de gesso agrícola em atributos físicos do solo sob sistema plantio direto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Para um bom desenvolvimento das plantas, a compactação do solo em níveis intermediários é benéfica em relação a um solo desagregado, sem condições mínimas para um bom armazenamento de água. Contudo, em níveis elevados, a compactação torna-se extremamente prejudicial às plantas (Reichert et al., 2007), tornando-se a principal degradação física do solo, caracterizada pela diminuição do volume de solos não saturados com a redução do seu espaço poroso quando submetidos a uma pressão (Krummelbein et al., 2008; Carvalho et al., 2010), que podem ser resultantes do tráfego de máquinas agrícolas, de animais, bem como do crescimento de raízes grandes que empurram as partículas do solo. A diminuição do volume do solo é definida como sendo uma alteração no arranjo de suas partículas constituintes (Camargo; Alleoni, 1997). Podendo ser atribuído à diminuição do espaço poroso entre os agregados que leva ao rearranjo destes na matriz do solo, e/ou à destruição dos agregados, que leva ao rearranjo e orientação das partículas (Horn et al., 1995).

Quando o solo é compactado ocorre aumento da sua densidade com redução da porosidade total, pela redução da macroporosidade (Tormena et al., 2004; Huang et al., 2007; Carvalho et al., 2010), e diminuição da continuidade de poros (Botta et al., 2008), da permeabilidade (Streck et al., 2004) e aumento da resistência do solo à penetração (Secco et al., 2009; Lima et al., 2010). Essas alterações físicas aumentam o conteúdo volumétrico de água e a capacidade de campo, e diminuem a aeração (Reichert et al., 2007), a taxa de infiltração de água (Lanzanova et al., 2007), e a condutividade hidráulica do solo saturado (Ferreira et al., 2010). Como consequência, limita-se o crescimento e desenvolvimento de plantas pela diminuição da disponibilidade de água (Streck et al., 2004), restrição ao crescimento das raízes e aeração deficiente (Reichert et al., 2007), podendo causar problemas ambientais pelo aumento do escoamento superficial (Reichert et al., 2007; Streck et al., 2008).

2.1.1 Influência da Compactação na Água do Solo

A disponibilidade de água para as plantas é resultado de processos que envolvem os fluxos de água para baixo do perfil enraizado e em direção às raízes. O tamanho de poros determina o potencial de água neles retida e, conseqüentemente, a tensão necessária para esvaziá-lo. Quanto maior o tamanho do poro, menor será a tensão a ser aplicada para retirar a água, e quanto menor o tamanho do poro, maior será a tensão necessária (Camargo; Alleoni, 1997). A facilidade ou dificuldade de absorção de água pelas raízes, vai depender da força com que a água está retida no solo, representada pela força de tensão. Dessa forma as raízes devem exercer uma força maior que a de retenção da água no solo para ocorrer a absorção de água. A tensão da água vai depender da umidade do solo, quanto mais seco maior a força de retenção nas partículas do solo, dessa forma, a planta exercerá maior força para extrair água do solo, condição que pode resultar em estresse hídrico, reduzindo a produção (Faria, 2006).

As faixas de tensão de água nos poros do solo são classificadas de três formas: saturação, capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP). Na condição de saturação os poros estão ocupados por água e corresponde a tensão de 0 quilo pascal (kPa), onde o desenvolvimento da planta fica limitado pela ausência de ar (Faria, 2006). A CC refere-se à quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado (Hillel, 1998), e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente (Lier, 2010), neste momento os macroporos estão livres de água e os microporos cheios (Klein, Reichert; Reinert, 2006). O PMP refere-se ao conteúdo de água e um solo em que as plantas experimentam perdas de turgescência das folhas, atingindo um murchamento irrecuperável, mesmo quando colocadas em uma atmosfera saturada com vapor de água (Klein, Reichert; Reinert, 2006; LIER, 2010). Em estudos realizados por Hillel (1998), o autor coloca como valores de referência para CC e PMP a quantidade de água retida pelo solo na faixa de tensão de 10 kPa e 1.500 kPa, respectivamente, sendo que estes valores sofrem influência das características do solo, principalmente textura.

A quantidade de água retida pelo solo a tensões acima de 10 kPa é de grande interesse para o estudo de sua disponibilidade para as plantas (Camargo; Alleoni, 1997). Uma vez que a diferença de umidade entre a CC e PMP indica a faixa de água disponível as plantas de um solo (Lier, 2010). Os principais fatores que afetam a disponibilidade de água para as plantas são: a mineralogia, a textura e a estrutura do solo, por determinar o arranjo das partículas, e por consequência, a distribuição do diâmetro de poros e o teor de matéria orgânica (Klein; Libardi, 2000).

Através da curva de retenção de água no solo, pode-se expressar graficamente a relação entre a sucção aplicada e a quantidade de água contida no solo. A água retida nas tensões mais baixas está relacionada com a estrutura do solo, enquanto que nas tensões mais altas está relacionada à distribuição do tamanho de partículas e mineralogia do solo (Reichert et al., 2009).

Em solos bem agregados os macroporos são drenados rapidamente, enquanto os microporos tendem a reter a água. Por outro lado, em solos muito “soltos” ou compactados a quantidade de macroagregados é reduzida e a drenagem é mais lenta, afetando também a entrada de ar e a difusão de oxigênio (Hillel, 1998). A compactação do solo afeta, principalmente os poros interagregados. Assim, afeta a disponibilidade de água as plantas, pois, em função da diminuição da macroporosidade e aumento da microporosidade ocorre um aumento da tensão com que essa água está retida nos poros (Klein; Libardi, 2000).

Verifica-se na figura 1 que, quando o solo se encontra saturado, a quantidade de água retida diminui com a compactação, uma vez que, quanto maior a compactação menor será a porosidade total. Sendo assim, em baixas tensões, uma amostra compactada retém menos água do que uma não compactada. Por outro lado, quando em altas tensões esta relação inverte, sendo que os solos compactados retem mais água, pela maior quantidade de microporos. De maneira geral, a compactação, até certo grau, aumenta a quantidade de água contida na faixa de disponibilidade para as plantas (Camargo; Alleoni, 1997).

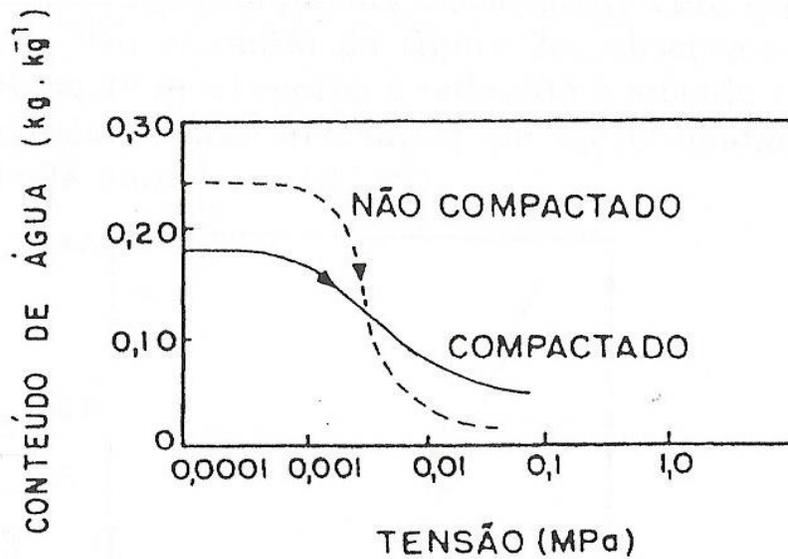


Figura 1 – Efeito da compactação na curva de retenção de água de um solo franco-arenoso.
Fonte: Camargo; Alleoni, 1997.

Avaliando a disponibilidade de água as plantas em diferentes manejos com distintas densidades, Klein; Libardi (2000) observaram que o aumento da densidade no Latossolo Roxo até $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$ aumenta a armazenagem de água no solo, bem como a sua disponibilidade às culturas, já valores de densidade superiores diminuiriam a disponibilidade de água. No estudo o solo da mata que apresentou valores menores de densidade, teve armazenagem de água reduzida, pois em função da elevada macroporosidade retém pouca água, confirmando assim, que um nível de compactação intermediário é benéfico para a produção das culturas, por aumentar a disponibilidade de água às plantas.

A interpretação da disponibilidade não é simples, uma vez que a deficiência de aeração e a resistência mecânica do solo podem dificultá-la. A redução da água facilmente disponível pode ser de alta ocorrência em condições de campo, podendo aparecer sintomas de estresse hídrico devido ao arranjo compacto das raízes, ainda que o valor obtido de água disponível não leve a estas conclusões (Camargo; Alleoni, 1997). Manejos do solo, que auxiliem para redução de estados críticos de compactação, promovem um melhor desenvolvimento do sistema radicular, aumentando o aproveitamento da água disponível no perfil, uma vez que as raízes vão explorar maior quantidade de solo (Faria, 2006).

2.2 GESSO NA AGRICULTURA

Um subproduto da fabricação de superfosfato simples e ácido fosfórico, o fosfogesso é o principal tipo de gesso disponível no Brasil. Seu principal constituinte é o sulfato de cálcio, desta forma se torna uma ótima fonte de cálcio e enxofre (Raij, 2008).

O sulfato de cálcio é uma molécula com elevada solubilidade em água, bem como alta mobilidade no perfil do solo, uma vez que a ligação do SO_4^{-2} com o Ca^{+2} forma um par iônico neutro, favorecendo a movimentação da molécula no perfil e o transporte de Ca (Pauletti et al., 2014). Quando ligado ao Mg^{+2} e ao potássio (K^+) o SO_4^{-2} também pode promover a lixiviação desses elementos, sendo mais comum a movimentação do Mg^{+2} (Caires et al., 2004; Rampim et al., 2011; Pauletti et al., 2014). O SO_4^{-2} além de favorecer o transporte de nutrientes para a subsuperfície, diminui o efeito tóxico do Al^{3+} por formar um par iônico com este elemento (AlSO_4^+), diminuindo a saturação por alumínio (Zambrosi et al., 2007; Raij, 2008; Pauletti et al., 2014).

As melhorias no subsolo, ocasionadas pelo uso do gesso agrícola, favorecem o desenvolvimento das raízes das plantas em solos pobres em cálcio ou com elevada saturação por alumínio em profundidade (Zambrosi et al., 2007; Raij, 2008), condição favorecida em áreas com cultivo sem revolvimento do solo e agravada, em alguns casos, onde ocorre impedimento físico ao crescimento de raízes. Em períodos de veranicos, nas lavouras em que o desenvolvimento do sistema radicular esteja limitado na camada superficial, ocorre diminuição na absorção de água e nutrientes pelas culturas (Pauletti et al., 2014), deixando as mesmas mais susceptíveis a estresse hídrico.

A presença do Ca em profundidade é de extrema importância para o desenvolvimento das raízes, uma vez que está diretamente ligado a divisão celular e formação de parede celular (Raij, 2011), por ser imóvel na planta, quando absorvido pelas raízes superficiais, não irá atender à necessidade das raízes mais profundas, quando o subsolo apresenta deficiência de Ca (Raij, 2011; Pauletti et al., 2014). O desenvolvimento das raízes das plantas em profundidade é importante para utilizar a água armazenada na sub superfície em períodos de veranicos, em condições que o

solo apresenta limitação química ou física ao crescimento radicular, a capacidade do solo suprir água às plantas fica reduzida, desta forma o uso do gesso tem se mostrado uma ótima ferramenta para melhorar o desenvolvimento radicular, garantido melhor aproveitamento da água da sub superfície (Caires et al., 2004; Rampim et al., 2011; Pauletti et al., 2014; Bertollo, 2014; Michalovicz, 2016).

2.3 INFLUÊNCIA DA GESSAGEM NAS CONDIÇÕES FÍSICAS DO SOLO

Normalmente a influência da gessagem nas condições físicas do solo é atribuída as melhorias provocadas pelo maior desenvolvimento do sistema radicular e atividade biológica (Bertollo, 2014). Contudo, o gesso também promove ação direta nos atributos físicos, como a redução da dispersão de argila, por apresentar efeito flocculante no solo (Borges et al., 1997; Raij, 2008), impedimento do encrostamento superficial do solo (Raij, 2008), redução da densidade do solo (Borges et al., 1997; Bertollo, 2014), aumento da macroporosidade (Borges et al., 1997; Carduci et al., 2014) e condutividade hidráulica (Raij, 2008) e redução da resistência tênsil do solo (Michalovicz, 2016).

O aumento da concentração de Ca em função do uso do gesso, além de melhorar o suprimento do nutriente para o desenvolvimento das raízes, influência na estabilização de agregados do solo e da matéria orgânica do solo, através da formação de ligações entre a argila e o carbono orgânico, reduzindo assim os impactos negativos do tráfego de máquinas no solo (Michalovicz, 2016). Avaliando a qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação, há 17 anos utilizando-se adubos verdes, calcário, gesso e pastagem, Bonini; Alves (2012) verificaram que o tratamento com guandu ou feijão-de-porco e braquiária com calagem e gesso agrícola, proporcionou menor resistência do solo à penetração e menor densidade do solo até 0,30 m de profundidade.

Melhorias na agregação do solo a 15 cm de profundidade, com o uso de gesso, foram observadas por Silva (2013) em solo com cafeeiros, sendo que os autores tiveram efeito benéfico, para a característica, até as doses de 56 Mg ha⁻¹. Também

verificaram, que o uso de gesso na dose de 7 Mg ha^{-1} contribuiu para aumentar o teor total de carbono do solo até 15 cm de profundidade.

Avaliando doses de gesso (0, 3, 6, 9, e 12 Mg ha^{-1}) e diferentes intensidades de tráfegos (sem tráfego, rodado do tráfego e entre rodado do tráfego), em um Latossolo Bruno, sob plantio direto, Michalovicz (2016) obteve efeitos benéficos do gesso sob atributos físicos do solo. Para a resistência tensil do solo (RT) os tratamentos com tráfego (rodado) e entrerrodado apresentaram redução linear deste parâmetro com o aumento das doses de gesso, já para o tratamento sem tráfego não teve diferença, o resultado é um indicativo que o gesso pode reduzir o efeito de aplicações de forças mecânicas no solo, conferindo maior estabilidade aos agregados. Quanto a resistência à penetração (RP), determinada com anéis volumétricos de solo em bancada, com umidade padronizada em capacidade de campo, foi verificado redução linear da RP com o aumento das doses de gesso, o autor atribuiu o resultado ao Ca que atua formando pontes com partículas minerais e orgânicas, o que pode promover aumento na agregação do solo, tal efeito aumenta a porosidade intra-agregados reduzindo a RP. O autor observou que perduraram os efeitos positivos do uso de gesso mesmo após 40 meses da sua aplicação, nas condições químicas do solo, no efeito de proteção química do carbono e na física do solo pela redução da RT no tratamento com tráfego, assim confirmando o potencial de uso do gesso como um condicionador de solo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma propriedade agrícola no município de São João, Sudoeste do Paraná, com latitude 25° 49' 40" S, longitude 52° 43' 31" W, altitude 750 m. A área agrícola está sob sistema plantio direto a mais de oito anos. Antes da implantação do experimento foi coletado amostra de solo para caracterização química e granulométrica, sendo os resultados: Fósforo 2,6 mg dm⁻³, determinado pelo método mehlich-1, Potássio 0,31 cmol_c dm⁻³, Cálcio 8,1 cmol_c dm⁻³ e Magnésio 4,1 cmol_c dm⁻³, determinados pelo método de resina, 22 mg dm⁻³ de enxofre quantificado pela metodologia de extração com fosfato de cálcio e pH (CaCl₂) 5,3, teor de argila 62,3%, de silte 24,4% e de areia 13,3%.

Em junho de 2015 foram implantados os tratamentos que consistiram na aplicação de gesso agrícola nas doses de 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 Mg ha⁻¹. Cada parcela experimental apresenta 14 metros de comprimento e 8,33 de largura. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com cinco tratamentos e quatro repetições (Figura 2).

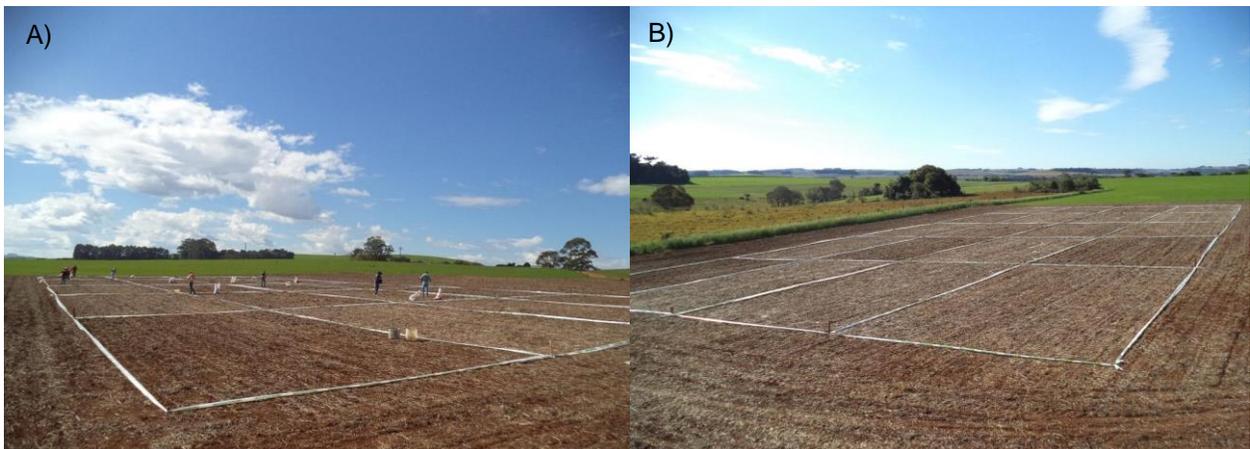


Figura 2 – A) Momento da implantação do experimento, aplicação das doses de gesso agrícola. B) Vista das parcelas experimentais após a aplicação dos tratamentos, São João, PR, junho de 2015.
Fonte: Cavalli, 2015.

Após a implantação do experimento ocorreu dois cultivos na área, trigo e soja, ambos sob sistema plantio direto, realizados com semeadora comercial equipada com

sulcador e as colheitas foram feitas com colhedora. O manejo das culturas foi conforme os recomendados para as respectivas culturas, respeitando o receituário agrônômico.

As medições de precipitação pluviométrica (Figura 3) durante o período experimental, foram realizadas a partir da instalação de pluviômetro no local do experimento.

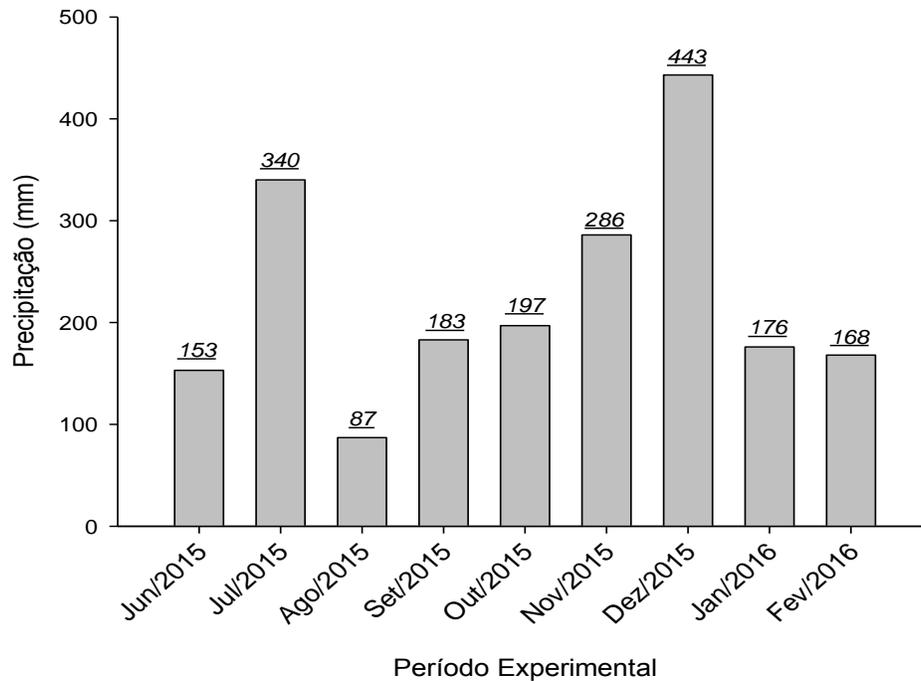


Figura 3 – Precipitação pluviométrica no período experimental, de junho de 2015 a fevereiro de 2016, São João, PR.

No final do ciclo da soja, em março de 2016, foi realizada a coleta de amostras de solo indeformadas com anéis metálicos (0,065 m de diâmetro e 0,03 m de altura) para avaliar parâmetros físicos do solo, nas camadas de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 e 0,20-0,30 m. As amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório de solos da UTFPR-DV, onde foram avaliadas as seguintes variáveis: Macroporos (MaP), Microporos (MiP), Porosidade Total (PT) e Densidade do Solo (Ds), conforme metodologia da EMBRAPA (2011).

Os anéis metálicos com as amostras de solo foram colocados para saturar por capilaridade, em recipiente com água por 48 horas, após foram pesados e levados à mesa de tensão, onde permaneceram até atingir peso constante, a uma tensão de

sucção de seis kPa (tensão para drenar a água presente nos macroporos), a fim de estabelecer equilíbrio entre a água retida na amostra e a tensão aplicada. Quando retiradas da mesa de tensão, as amostras foram pesadas e encaminhadas para estufa, permanecendo na mesma a 105°C até atingirem peso constante, sendo feita a medida do peso seco (EMBRAPA, 2011). A porosidade total do solo foi obtida pelo método da saturação, a partir da diferença entre a massa saturada do solo e a massa de solo seco em estufa a 105°C. Os microporos do solo foram determinados a partir da diferença entre massa de solo à tensão de seis kPa e a massa de solo seco, dividido pelo volume total ocupado pelo solo. Os macroporos do solo foram determinados a partir da diferença entre porosidade total e microporos. A densidade do solo foi determinada pela razão entre massa de solo seco e volume total do solo.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância (ANOVA), para as variáveis que apresentaram significância ($p < 0,05$) foi realizada a análise de regressão polinomial, a fim de determinar a melhor curva, com auxílio do programa ASSITAT (Silva; Azevedo, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da ANOVA na análise de regressão, houve significância ($p < 0,05$) em função das doses de gesso agrícola para as variáveis Ds na camada de 0,00-0,05 m com comportamento linear, para MaP e MiP na camada de 0,05-0,10 m com comportamento quadrático e para MaP na camada de 0,10-0,15 m com comportamento quadrático (Tabela 1). Para as demais variáveis e camadas não houve diferença significativa em função dos tratamentos empregados (Tabela 1).

Tabela 1 – Quadrado médio das fontes de variação para as variáveis Macroporos (MaP), Microporos (MiP), Porosidade Total (PT) e Densidade do Solo (Ds), em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.

Regressão	Linear	Quadrática	Cúbica	Erro	CV(%)
G. L.	1	1	1		
Camada 0,0-0,05 m					
Macroporos (%)	8,6214 ^{NS}	0,8816 ^{NS}	9,3739 ^{NS}	17,9046	29,96
Microporos (%)	11,0772 ^{NS}	0,6044 ^{NS}	3,7654 ^{NS}	6,6632	5,41
Porosidade Total (%)	0,9742 ^{NS}	2,9460 ^{NS}	1,2571 ^{NS}	4,8776	3,57
Densidade do Solo (Mg m ⁻³)	0,0275*	0,00049 ^{NS}	0,00172 ^{NS}	0,00521	6,12
Camada 0,05-0,10 m					
Macroporos (%)	1,0683 ^{NS}	7,5877*	2,4868 ^{NS}	1,3833	10,71
Microporos (%)	1,3616 ^{NS}	8,5771*	0,1260 ^{NS}	1,6202	2,74
Porosidade Total (%)	4,8422 ^{NS}	0,0303 ^{NS}	3,7329 ^{NS}	2,099	2,52
Densidade do Solo (Mg m ⁻³)	0,00402 ^{NS}	0,00929 ^{NS}	0,00072 ^{NS}	0,00843	7,07
Camada 0,10-0,15 m					
Macroporos (%)	0,5855 ^{NS}	10,7015*	3,4850 ^{NS}	1,2738	10,73
Microporos (%)	0,4366 ^{NS}	1,0664 ^{NS}	0,5798 ^{NS}	1,319	2,46
Porosidade Total (%)	0,0109 ^{NS}	5,0115 ^{NS}	1,2218 ^{NS}	3,0645	3,06
Densidade do Solo (Mg m ⁻³)	0,0019 ^{NS}	0,0028 ^{NS}	0,0064 ^{NS}	0,00411	5,04
Camada 0,15-0,20 m					
Macroporos (%)	0,1651 ^{NS}	8,7906 ^{NS}	4,8258 ^{NS}	5,3184	22,72
Microporos (%)	16,0914 ^{NS}	5,0256 ^{NS}	1,4725 ^{NS}	8,5868	5,92
Porosidade Total (%)	12,9964 ^{NS}	0,5228 ^{NS}	11,6299 ^{NS}	9,7966	5,25
Densidade do Solo (Mg m ⁻³)	0,0020 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	0,0206 ^{NS}	0,0042	5,46
Camada 0,20-0,30 m					
Macroporos (%)	2,0467 ^{NS}	3,6487 ^{NS}	1,0799 ^{NS}	1,1975	11,20
Microporos (%)	0,5755 ^{NS}	0,9387 ^{NS}	2,6541 ^{NS}	3,7966	3,66
Porosidade Total (%)	4,7931 ^{NS}	0,8860 ^{NS}	7,1201 ^{NS}	2,8221	2,66
Densidade do Solo (Mg m ⁻³)	0,0008 ^{NS}	0,0100 ^{NS}	0,0024 ^{NS}	0,0029	5,02

*significativo a 5%; ^{NS}: não significativo.

CV (%): Coeficiente de variação.

O uso de gesso agrícola teve efeito significativo na redução da Ds na camada de 0,0-0,05 m (Figura 4), sendo linear a diminuição da Ds com o incremento das doses de gesso, passando de 1,23 Mg m⁻³ na dose de 0 Mg ha⁻¹ de gesso para 1,14 Mg m⁻³ nas doses de 7,5 e 10 Mg ha⁻¹ de gesso (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Bertollo (2014), sendo que o incremento nas doses de gesso, até 6 Mg ha⁻¹, promoveram diminuição linear na densidade do solo, no tratamento com 4 Mg ha⁻¹ de calcário.

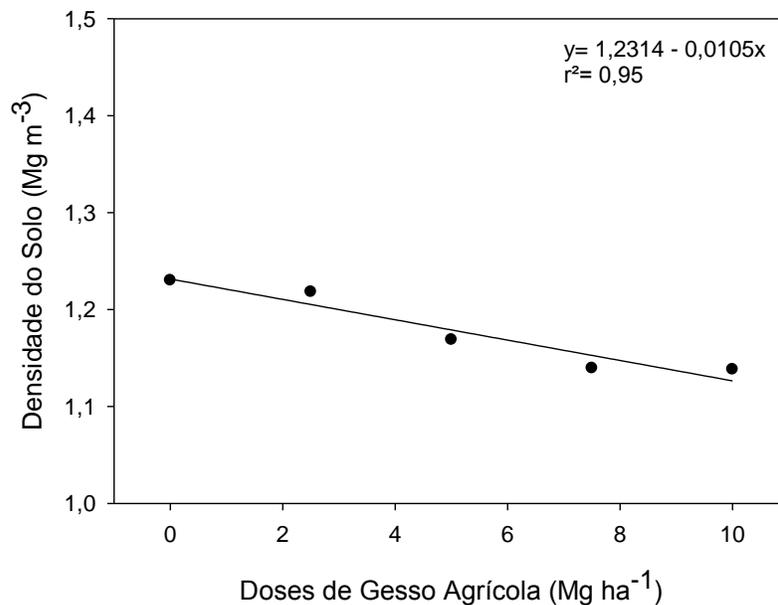


Figura 4 – Densidade do solo (Mg m⁻³) na camada de 0,00-0,05 m, em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.

A literatura, traz como densidade crítica para solos de textura muito argilosa valores entre 1,25 a 1,30 Mg m⁻³ (Reichert et al., 2003). Portanto, no presente estudo a Ds do solo na camada de 0,00-0,05 m não se encontrava na faixa crítica preconizada, mesmo assim, a redução observada na Ds pode trazer benefícios as plantas quanto ao desenvolvimento do sistema radicular, pela menor resistência do solo ao seu aprofundamento. Apesar do gesso não ter apresentado influência nas demais camadas, na (Tabela 2) os valores de Ds do solo na faixa de crítico nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, o que pode influenciar negativamente na produção das culturas em anos

de baixa precipitação durante o ciclo das mesmas, o que não houve durante os nove meses de avaliação (Figura 3) do experimento.

Tabela 2 – Médias dos tratamentos para as variáveis Macroporos (MaP), Microporos (MiP), Porosidade Total (PT) e Densidade do Solo (Ds), em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.

Variáveis	Doses de Gesso Agrícola ($Mg\ ha^{-1}$)				
	0	2,5	5	7,5	10
Camada 0,0-0,05 m					
Macroporos (%)	12,93	12,86	13,98	16,17	15,54
Microporos (%)	48,10	49,35	47,22	48,48	46,61
Porosidade Total (%)	61,03	62,22	61,20	63,24	61,30
Densidade do Solo (%)	1,23	1,22	1,17	1,14	1,14
Camada 0,05-0,10 m					
Macroporos (%)	11,05	11,31	9,70	10,64	12,41
Microporos (%)	45,34	46,45	47,75	46,52	46,19
Porosidade Total (%)	56,39	57,75	57,45	57,23	58,39
Densidade do Solo (%)	1,31	1,27	1,38	1,27	1,26
Camada 0,10-0,15 m					
Macroporos (%)	10,77	10,91	9,10	9,98	11,79
Microporos (%)	46,88	46,24	47,69	46,69	46,22
Porosidade Total (%)	57,65	57,16	56,79	56,49	58,06
Densidade do Solo ($Mg\ m^{-3}$)	1,28	1,27	1,27	1,31	1,23
Camada 0,15-0,20 m					
Macroporos (%)	9,06	11,62	10,46	10,11	9,19
Microporos (%)	48,65	48,83	49,05	49,51	51,57
Porosidade Total (%)	57,71	60,46	59,51	59,44	61,07
Densidade do Solo ($Mg\ m^{-3}$)	1,23	1,15	1,21	1,23	1,15
Camada 0,20-0,30 m					
Macroporos (%)	10,43	10,65	8,40	9,54	12,60
Microporos (%)	53,07	53,88	53,84	52,27	53,11
Porosidade Total (%)	63,50	64,53	62,24	62,15	62,96
Densidade do Solo ($Mg\ m^{-3}$)	1,07	1,07	1,11	1,09	1,03

Quando ocorrem períodos de veranicos, a água armazenada em camadas abaixo de regiões com impedimento físico ou químico à penetração de raízes, fica indisponível para as plantas, reduzindo a capacidade do solo suprir água às plantas, pôr as raízes não explorarem o solo em profundidade (Pauletti et al., 2014). Assim, o

uso do gesso a longo prazo, aumentando a concentração de Ca em profundidade e reduzindo a saturação de Al, favorece o desenvolvimento de raízes, influenciando em alterações na estrutura do solo (Raij, 2008; Bertollo, 2014) como diminuição da Ds e aumento da MaP (Borges et al., 1997).

Maior teor de Ca também influencia na melhoria das condições físicas do solo, pois forma ligações entre a argila e carbono orgânico (Michalovicz, 2016), o que diminui a sua resistência. Ademais, quanto maior a adição de gesso, maior será a predominância do Ca^{2+} no complexo de troca, que irá promover flocculação das argilas (Borges et al., 1997) e contribuir para aumento da atividade biológica, que também favorece a formação de agregados no solo (Bertollo, 2014), desta forma, o solo fica mais resistente a compactação.

Na camada de 0,05-0,10 m a MaP e MiP apresentaram comportamento quadrático (Figura 5-A e 5-B), com redução no teor de MaP até a dose de 5 Mg ha^{-1} de gesso, voltando a aumentar com doses superiores, até atingir valor máximo de 12,41% com 10 Mg ha^{-1} de gesso. Já a MiP apresentou comportamento inverso à MaP, elevando-se até a dose de 5,0 Mg ha^{-1} de gesso e voltando a diminuir com doses maiores.

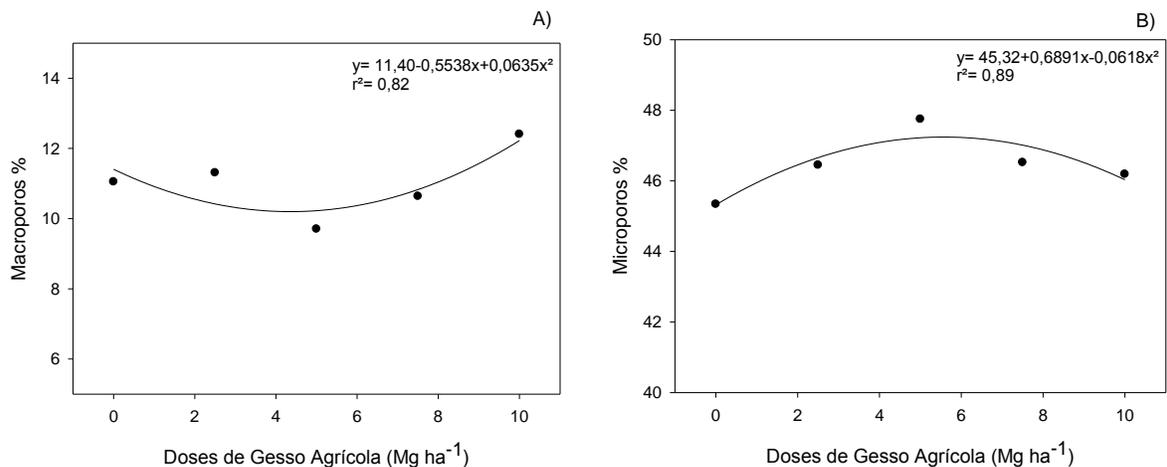


Figura 5 – A) Macroporos (%) do solo e B) Microporos (%) do solo, na profundidade de 0,05-0,10 m, em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.

Para a camada de 0,10-0,15 m (Figura 06) os valores de MaP foram de 11,05%, 11,31%, 9,70%, 10,64% e 12,41%, para as doses de 0, 2,5, 5, 7,5 e 10 Mg ha^{-1} , respectivamente. Salienta-se que em ambas as camadas analisadas o teor de MaP

apresentou o mesmo comportamento, tendo uma redução até a dose de 5,0 Mg ha⁻¹ de gesso e o maior teor observado com a dose de 10 Mg ha⁻¹. Avaliando as características físicas do solo, submetido a tratamentos com calcário e gesso, Bertollo (2014) observou interação dos dois tratamentos na macroporosidade do solo, com a aplicação de 4 Mg ha⁻¹ de calcário ocorreu diminuição dos valores de MaP com o uso de 2 Mg ha⁻¹ de gesso, já nas doses de 4 e 6 Mg ha⁻¹, houve aumento nos valores da MaP, tal comportamento da MaP com as doses de gesso é similar ao encontrado no presente estudo.

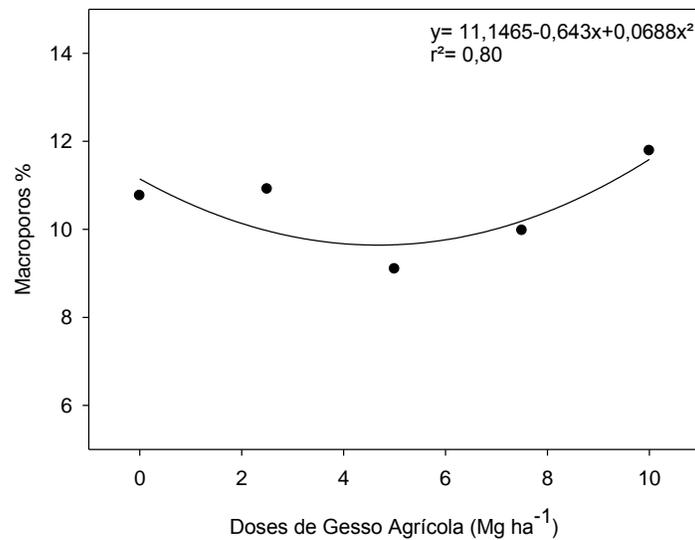


Figura 6 – Macroporos (%) do solo na profundidade de 0,10-0,15 m, em função de diferentes doses de gesso agrícola, São João, PR, março de 2016.

Portanto, verifica-se que mesmo em um pequeno período de tempo o gesso agrícola interferiu na Ds, MaP e MiP do solo até a profundidade de 15 cm. A longo prazo a utilização do gesso poderá trazer maiores efeitos benéficos para a física do solo, devido à movimentação do Ca em profundidade, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular das culturas no perfil do solo.

5 CONCLUSÕES

Nove meses após a aplicação, o gesso agrícola reduziu a densidade do solo na camada de 0,00-0,05 m de um Latossolo Vermelho no Sudoeste do Paraná.

Na subsuperfície (0,05-0,15 m) a aplicação gesso em doses até 5 Mg ha⁻¹ diminuiu a macroporosidade e aumentou a microporosidade, invertendo esse comportamento com a aplicação de maiores doses de gesso.

6 REFERÊNCIAS

- BERTOLLO, A. M. **Propriedades físicas de um Latossolo após calagem, gessagem em manejos de solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de Santa Maria. Dissertação de Mestrado. 2014.
- BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos**. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., Campina Grande , v. 16, n. 4, p. 329-336, Abr. 2012 .
- BORGES E. N. et al. **Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada**. Rev. Bras. Ci. Solo, v. 21, p. 125-130,1997.
- BOTTA, G. F. et al. **Soil compaction produced by tractor with and cross-ply tyres in two tillage regimes**. Soil & Tillage Research, n.101, p.44-51, 2008.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132p.
- CAIRES, E. F. et al. **Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto**. Rev. Bras. Ci. Solo, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E. F. et al. **Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso**. Rev. Bras. Ci. Solo, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.
- CARDUCCI, C. E. et al. **Retenção de água do solo sob sistema conservacionista de manejo com diferentes doses de gesso**. Rev. Cienc. Agrar., v. 58, n. 3, p. 284-291, 2015.
- CARVALHO, R. C. R., et al. **Soil shear strength under non irrigated and irrigated short duration grazing systems**. Rev. Bras. Ci. Solo, v.34, p.631-638, 2010.
- CAVALLI, J. **Efeitos do uso de gesso agrícola na produção de trigo. Trabalho de Conclusão de Curso**. União de Ensino do Sudoeste do Paraná. 2015. 27 f.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª edição revista. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 230 p.

FARIA R. T. Capítulo 3 - Água como fator de produção. Im: CASÃO JR R., **Sistema de plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, P.29-37, 2006.

FERREIRA, R. R. M., et al. **Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo**. Semina Ciências Agrárias, Londrina, v.31, n.4, p.913-932, 2010.

IGUE, K.; GARGANTINI, H.; ALCOVER, M. **Efeito da calagem e da adubação fosfatada em solo ácido e de baixa fertilidade, na cultura de trigo**. Bragantia, v. 29, n. único, p. 59-66, 1970.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. Academic Press, 1998. 771p.

HUANG, D; WANG, K.; WU, W. L. **Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China**. Journal of Arid Environments, n.70, p.120–136, 2007.

HORN, R., et al. **Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment**. Soil & Tillage Research, v.35, p.23-36, 1995.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. **Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo**. Ciência Rural, v.30, n.6, 2000.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas**. Rev. Bras. Eng. Agrícola, v.10, n.3, p.646-650, 2006.

KRUMMELBEIN, J.; PETH, S.; HORN, R. **Determination of pre-compression stress of a variously grazed steppe soil under static and cyclic loading**. Soil & Tillage Research, v.99, p.139-148, 2008.

LANZANOVA, M. E., et al. **Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.** Rev. Bras. Ci. Solo, n.31, p.1131-1140, 2007.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production.** Advances in Soil Science, v.1, p.277-293, 1985.

LIER, Q. J. V. **Disponibilidade de água as plantas.** In: LIER, Q.J.V. Física do Solo. Viçosa, MG: SBCS, 2010. 298p.

LIMA, C. L. R., et al. **Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos.** Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.45, n.1, p.89-98, 2010.

MICHALOVICZ, L. **Atributos de qualidade do solo em resposta à aplicação de gesso agrícola e compactação.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Maringá. 103 f. 2016.

PAULETTI, V. et al. **Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio.** Rev. Bras. Ci. Solo, v. 38, n. 02, p. 495-505, 2014.

PESSONI, P. T. **Calagem e gessagem na produtividade da soja e do triticale.** Tese de Doutorado. Instituto agrônomo, 2012.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura.** Instituto agrônomo de Campinas – SP. Circular técnica n. 122, p. 26-27, 2008.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutriente.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

RAMPIM, L. et al. **Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta.** Rev. Bras. Ci. Solo, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigações.** In: Tópicos Ci. Solo, n.5, p.49-134, 2007.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas.** Revista Ciência & Ambiente, Santa Maria, v. 27, n.2, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M., et al. **Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul.** R. Bras. Ci. Solo, n.33, p.1547-1560, 2009.

SECCO, D., et al. **Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados.** Ciência Rural, v.39, n.1, 2009.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. **A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software.** In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: Anais... Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 393-396, 2006.

STRECK, C. A., et al. **Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto.** Ciência Rural, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

STRECK, C. A., et al. **Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do Sul do Brasil.** R. Bras. Ci. Solo, v.32, p.2603-2612, 2008. Número Especial.

TORMENA, C. A. et al. **Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo.** Rev. Bras. Ci. Solo, v.28, p.1023-1031, 2004.

ZAMBROSI, F. C. B. et al. **Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto.** Ciência Rural, v. 37, n. 1, jan./fev., 2007.