

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

BRUNA THAINA BARTZEN

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DE DOSES
DE GESSO AGRÍCOLA E O RENDIMENTO DO TRIGO E SOJA EM SUCESSÃO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2020

BRUNA THAINA BARTZEN

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DE DOSES
DE GESSO AGRÍCOLA E O RENDIMENTO DO TRIGO E SOJA EM SUCESSÃO**

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

Orientador: Professor Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2020

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Bartzen, Bruna Thaina

Atributos químicos e físicos do solo após a aplicação de doses de gesso agrícola e o rendimento do trigo e soja em sucessão / Bruna Thaina Bartzen; orientador(a), Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, 2020.

74 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Agronomia Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.

1. Gessagem. 2. Glycine max. 3. Manejo do solo. 4. Triticum aestivum. I. de Oliveira, Paulo Sérgio Rabello. II. Título.



Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



BRUNA THAINA BARTZEN

Atributos químicos e físicos do solo após a aplicação de doses de gesso agrícola e o rendimento do trigo e soja em sucessão.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

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

Jucener Fernando Frandoloso

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

Alfredo Richart

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)

Marechal Cândido Rondon, 28 de fevereiro de 2020

Aos meus pais Ivo e Lucia e aos meus demais familiares, que possibilitaram e fizeram com que tudo isso pudesse ser realizado.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por sempre iluminar a minha trajetória da maneira mais correta possível.

Agradeço imensamente aos meus pais, Ivo e Lucia, os quais me possibilitaram a realização de meus sonhos e por todo amor e compreensão, principalmente quando me incentivaram e ensinaram a ser quem eu sou.

À toda minha família, em especial minha tia Maristel, os quais sempre me apoiaram em meus projetos com palavras de incentivo, por sempre me ensinarem o valor de uma família verdadeiramente unida.

Ao meu namorado, Guilherme R. de Souza, pelo companheirismo, carinho, atenção neste momento tão importante para mim e também pela ajuda na condução experimental.

Aos amigos e amigas que fiz ao longo destes anos, àqueles de longe que, de alguma forma, contribuíram, apoiando e colaborando para a elaboração deste trabalho, vocês são muito importantes!

Aos integrantes do grupo “GEPسيا”, Eloisa, Jeferson, Marinez, Jonas, Andressa, Bruno, Daniel, Yasser, Marcia, Isabela, Matheus, Rodrigo, Fabi, Marcela, Vinicius, Julia, Dani, Ariane, Laércio, Fernanda, Kamyla, Lucas, Gean e Iandra amigos e companheiros de trabalho.

Agradeço à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, em especial o Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia pela oportunidade de realização do Mestrado e aos funcionários, por toda a infraestrutura e trabalho na condução do experimento em estudo, em geral, a qual possibilitou o meu aprendizado.

A todos os docentes do Centro de Ciências Agrárias, principalmente ao meu orientador professor Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e a todos os integrantes do grupo de estudos, por sempre me auxiliarem e orientarem no que era necessário nos trabalhos desenvolvidos.

Às professoras, Dra. Maria do Carmo Lana e Dra. Edleusa Pereira Seidel, por abrirem as portas dos laboratórios de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas e Física do Solo.

Ao pesquisador, Dr. Jucenei Fernando Frandoloso, pela ajuda na realização das análises.

À Cooperativa Agroindustrial Copagril por toda a infraestrutura e trabalho na instalação e condução do experimento a campo.

À Secretária do PPGA, Leila pela paciência e dedicação ao realizar seu trabalho.

À Capes pela concessão da bolsa de estudos e financiamento do projeto.

Muito Obrigada!

*"O sucesso nasce do querer, da
determinação e persistência em se chegar a
um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem
busca e vence obstáculos, no mínimo fará
coisas admiráveis."*

(José de Alencar)

RESUMO

BARTZEN, Bruna Thaina. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2020. **Atributos químicos e físicos do solo após a aplicação de doses de gesso agrícola e o rendimento do trigo e soja em sucessão.** Orientador: prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

O gesso agrícola é fonte de Ca e S e pode trazer melhorias nos atributos químicos do solo, com potencial para aumentar a produtividade das culturas do trigo e da soja. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de doses de gesso agrícola sobre os atributos físicos do solo, teores de nutrientes (solo e planta), bem como o desenvolvimento das culturas do trigo e da soja em sucessão em Sistema Plantio Direto (SPD). O experimento foi implantado no mês de agosto de 2017, na Estação Experimental da Copagril, pertencente a Cooperativa Agroindustrial Copagril, no município de Marechal Cândido Rondon – PR, em um Latossolo Vermelho Eutroférico. O delineamento experimental utilizado, foi de blocos casualizados, com os tratamentos constituídos por seis doses de gesso agrícola (0, 600, 1200, 2400, 4800 e 9600 kg ha⁻¹). Em maio de 2018 foi realizada a semeadura da cultura do trigo, na qual, no momento da colheita, foram avaliados os componentes de rendimento (altura de planta, perfilhamento, comprimento de espiga, número de espiguetas, número de grãos por espiga, massa de mil grãos e produtividade). Além disso, foram quantificados os teores de nutrientes do solo e atributos físicos (macro, microporosidade, porosidade total, densidade e resistência à penetração do solo), na profundidade de 0-40 cm, após 18 meses da aplicação do gesso. Em setembro de 2018, foi implantada a cultura da soja, e avaliado o efeito dos tratamentos sobre os componentes de rendimento da cultura. Foi realizada coleta de folhas para quantificação dos teores dos macronutrientes nas culturas do trigo e da soja. Os resultados obtidos com 18 meses de aplicação do gesso indicam que o mesmo não influenciou a acidez ativa, bem como, os teores de K do solo. Provocou aumento da acidez potencial do solo até a dose 2400 e 1200 kg ha⁻¹ na camada de 0-10 e 20-40 cm, respectivamente, e redução na camada de 10-20 cm até a dose de 1200 kg ha⁻¹. A dose de 1200 kg ha⁻¹ aumentou os teores de Ca, Mg e a saturação por bases na camada de 10-20 cm e o teor de S nas duas camadas mais profundas do solo. A CTC_{pH7,0} aumentou até a dose de 2400 kg ha⁻¹. A dose de 1200 kg ha⁻¹ aumentou os teores de K e S na cultura do trigo e Mg e K na cultura da soja. Em relação a macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade (Ds), as doses de 600 e 1200 kg ha⁻¹ obtiveram os maiores valores de Ma, Mi e Pt. Os menores valores de Ds nas camadas avaliadas (0 – 40 cm), ocorrendo melhoria da qualidade física do solo. A dose de 1200 kg ha⁻¹ obteve os menores valores para a resistência do solo a penetração das raízes (RP) nas camadas avaliadas (0 – 40 cm). A utilização do gesso agrícola não favoreceu o aumento de produtividade da cultura do trigo e da soja.

Palavras-chave: Gessagem. *Glycine max*. Manejo do solo. *Triticum aestivum*.

ABSTRACT

BARTZEN, Bruna Thaina. State University Of Western Paraná, february 2020. **Chemical and physical attributes of the soil after the application of doses of agricultural plaster and the yield of wheat and soybean in succession.** Advisor: prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira.

Agricultural gypsum is a source of Ca and S and can bring improvements in the chemical attributes of the soil, with the potential to increase the productivity of wheat and soybean crops. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the effect of doses of agricultural plaster on the physical attributes of the soil, nutrient contents (soil and plant), as well as the development of wheat and soybean crops in succession in the Direct Planting System (DPS). The experiment was implemented in August 2017, at Copagril Experimental Station, belonging to Copagril Agroindustrial Cooperative, in the municipality of Marechal Cândido Rondon - PR, in an Eutrophic Red Latosol. The experimental design used was randomized blocks, with treatments consisting of six doses of agricultural plaster (0, 600, 1200, 2400, 4800 and 9600 kg ha⁻¹). In May 2018 the sowing of the wheat crop was carried out, in which, at the time of harvest, the yield components were evaluated (plant height, tillering, ear length, number of spikelets, number of grains per ear, mass of thousand grains and productivity). In addition, soil nutrient content and physical attributes (macro, microporosity, total porosity, density and resistance to soil penetration) were quantified, at a depth of 0-40 cm, after 18 months of plaster application. In September 2018, the soybean crop was implanted, and the effect of treatments on the yield components of the crop was evaluated. Leaf collection was performed to quantify the levels of macronutrients in wheat and soybean crops. The results obtained after 18 months of application of the plaster indicate that it did not influence the active acidity, as well as the K content of the soil. It caused an increase in the potential acidity of the soil up to the dose 2400 and 1200 kg ha⁻¹ in the 0-10 and 20-40 cm layer, respectively, and a reduction in the 10-20 cm layer up to the dose of 1200 kg ha⁻¹. The 1200 kg ha⁻¹ dose increased the Ca, Mg and base saturation levels in the 10-20 cm layer and the S content in the two deepest layers of the soil. CTC_{pH7.0} increased to a dose of 2400 kg ha⁻¹. The 1200 kg ha⁻¹ dose increased the levels of K and S in wheat and Mg and K in soybean. Regarding macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Pt) and density (Ds), the doses of 600 and 1200 kg ha⁻¹ obtained the highest values of Ma, Mi and Pt. The lowest values of Ds in the evaluated layers (0 - 40 cm), improving the physical quality of the soil. The 1200 kg ha⁻¹ dose obtained the lowest values for soil resistance to root penetration (RP) in the evaluated layers (0 - 40 cm). The use of agricultural gypsum did not favor the increase in productivity of wheat and soybean crops.

Keywords: Plaster. *Glycine max.* Soil management. *Triticum aestivum.*

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Precipitação pluviométrica acumulada durante os meses dos anos de 2018 e 2019 do período experimental. Fonte: Estação Experimental da Copagril, Marechal Cândido Rondon – PR.....18
- Figura 2 - Teores de H + Al 0-10 cm (A), H + Al 10-20 cm (B), H + Al 20-40 cm (C), S 10-20 cm (D) e S 20-40 cm (E) no solo aos 18 meses após a aplicação das doses de gesso agrícola.....22
- Figura 3 - Teores de Ca e Mg na profundidade de 10-20 cm (A) no solo aos 18 meses após a aplicação das doses de gesso agrícola.....25
- Figura 4 - Teores de V% na profundidade de 10-20 cm (A), CTC_{pH7,0} 0-10 cm (B), CTC_{pH7,0} 10-20 cm (C) e CTC_{pH7,0} 20-40 cm (D) no solo aos 18 meses após a aplicação das doses de gesso agrícola.....26
- Figura 5 - Teores de K (A) e S (B) no tecido vegetal do trigo e Mg (C) e K (D) no tecido vegetal da soja.....28
- Figura 6 - Valores de macroporosidade (A), microporosidade (B), porosidade total (C) e Densidade (D) do solo 18 meses após a aplicação das doses de gesso. ns; *Não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....41
- Figura 7 - Resistência do solo à penetração (MPa) nas camadas de 0-40 cm de profundidade, após 18 meses da aplicação das doses de gesso. ns; *Não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.....43

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do solo, na camada de 0 a 40 cm de profundidade, antes da aplicação das doses de gesso agrícola, em 2017, no município de Marechal Cândido Rondon – PR.....17
- Tabela 2 - Teores médios e resumo da análise de variância para pH CaCl₂, H+Al e S no solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade na coleta após 18 meses da adição de doses de gesso agrícola no município de Marechal Cândido Rondon - PR.....21
- Tabela 3 - Teores médios e resumo da análise de variância para Ca, Mg e K no solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade na coleta após 18 meses da adição de doses de gesso agrícola no município de Marechal Cândido Rondon - PR.....24
- Tabela 4 - Teores médios e resumo da análise de variância para V % e CTCpH_{7,0} do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade na coleta após 18 meses da adição de doses de gesso agrícola no município de Marechal Cândido Rondon – PR.....25
- Tabela 5 - Valores médios de teores foliares de Ca, Mg, K e S nas culturas do trigo e da soja, em função de diferentes doses de gesso agrícola para o ano agrícola 2018/2019, Marechal Cândido Rondon - PR.....27
- Tabela 6 - Quadrado médio da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas camadas do solo após 18 meses da aplicação de doses de gesso agrícola, no município de Marechal Cândido Rondon – PR.....40
- Tabela 7 - Quadrado médio da análise de variância para o parâmetro de resistência à penetração (MPa) nas camadas do solo após 18 meses da aplicação de doses de gesso agrícola, no município de Marechal Cândido Rondon – PR.....42
- Tabela 8 - Resumo da análise de variância para os parâmetros avaliados: altura (ALT), perfilhamento total (PER), comprimento de espiga (COM), número

de espiguetas (NE), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD) da cultura do trigo e estande (EST), altura (ALT), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NGP), número de grãos por planta (NGP), diâmetro do caule (DC), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD) da cultura da soja, no município de Marechal Cândido Rondon – PR, no ano agrícola 2018/2019.....52

Tabela 9 - Altura (ALT), perfilhamento (PER), comprimento de espiga (COM), número de espiguetas (NE), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MMG) e Produtividade (PROD) da cultura do trigo, na safra 2018, no município de Marechal Cândido Rondon - PR.....53

Tabela 10 - Estande (EST), altura (ALT), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), diâmetro do caule (DC), massa de mil grãos (MMG) e Produtividade (PROD) da cultura da soja, na safra 2018/2019, no município de Marechal Cândido Rondon - PR.....54

SUMÁRIO

1	PRIMEIRO CAPÍTULO.....	1
1.1	INTRODUÇÃO.....	1
1.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
1.2.1	Gessagem e os atributos químicos e físicos do solo.....	2
1.2.2	Cultura do Trigo.....	5
1.2.3	Cultura da soja.....	6
1.3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
2	SEGUNDO CAPÍTULO – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NAS CULTURAS DO TRIGO E DA SOJA APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO	14
	RESUMO.....	14
	ABSTRACT.....	15
2.1	INTRODUÇÃO.....	16
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
2.4	CONCLUSÃO.....	29
2.5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
3	TERCEIRO CAPÍTULO – ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO AGRÍCOLA.....	35
	RESUMO.....	35
	ABSTRACT.....	36
3.1	INTRODUÇÃO.....	37
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
3.4	CONCLUSÃO.....	43
3.5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
4	QUARTO CAPÍTULO – RESPOSTA DO TRIGO E SOJA APÓS A APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO AGRÍCOLA.....	47
	RESUMO.....	47
	ABSTRACT.....	48
4.1	INTRODUÇÃO.....	49
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	50

4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.4	CONCLUSÃO.....	56
4.5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. PRIMEIRO CAPÍTULO

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores de grãos no mundo, cultivando aproximadamente 61 milhões de hectares. Assim, o constante aperfeiçoamento das técnicas de produção se torna indispensável para o incremento da produtividade brasileira (CONAB, 2019).

Contudo, uma grande parcela dos solos do Brasil apresenta problemas de acidez subsuperficial, visto que a incorporação do calcário nem sempre é possível nas lavouras comerciais, uma vez que o SPD prioriza o não revolvimento do solo, dessa forma, as camadas abaixo de 20 cm, podem continuar com elevados teores de alumínio (Al), mesmo quando se tenha efetuada uma calagem considerada adequada (CAIRES et al., 2006).

O Al trocável no solo interfere no crescimento radicular das espécies vegetais sensíveis, diminuindo a exploração radicular. No entanto, o gesso agrícola pode ajudar na neutralização desse elemento e diminuir sua interferência no desenvolvimento das raízes em profundidade, possibilitando maior produtividade das culturas (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

A utilização do gesso agrícola iniciou-se através de resultados obtidos por Vitti e Malavolta (1985) que observaram efeitos positivos na utilização de doses entre 100 a 300 kg ha⁻¹ em diferentes culturas.

A aplicação de gesso agrícola possibilita melhores condições do subsolo, podendo atuar, de certa forma, como descompactante do solo (RAIJ, 2008), ambiente que geralmente é poucofavorável às raízes. A formação de complexos químicos com o Al torna-o menos disponível para as plantas. Por ter alta solubilidade no solo, o gesso fornece rapidamente o cálcio (Ca) e enxofre (S), que pode ser carregado em profundidade, melhorando a fertilidade e aumentando a exploração das raízes (OLIVEIRA, 2009).

Lima et al. (2013), avaliando a influência do gesso com a dose 1 t ha⁻¹ e tratamento controle sobre características do solo aos 36 e 72 meses após a aplicação, observaram efeito mais acentuado quanto aos teores de Ca²⁺ no maior prazo após a aplicação. Os autores constataram, na avaliação aos 36 meses após a aplicação, diminuição dos teores de Mg²⁺ na camada de 0-10 cm e aumentos na

camada de 10 - 20 cm. Contudo, na avaliação aos 72 meses após a aplicação, verificou-se um deslocamento do Mg^{2+} para camadas abaixo de 60 cm, lixiviação essa que já foi relatada por diversos autores (CRUSCIOL et al., 2014; MICHALOVICZ et al., 2014; RAMOS et al., 2013; ROSOLEM & MACHADO, 1984).

A aplicação de gesso aumentou o crescimento da raiz em alfafa e conseqüentemente, aumentou absorção de água e de nutrientes pelas plantas segundo (SUMNER et al., 1986). Souza et al. (2005) em um experimento com milho, reportaram que o sistema radicular das plantas atingiu, sem a aplicação de gesso, até 45 cm de profundidade, sendo que 61% das raízes estavam concentradas na camada mais superficial, até 15 cm. Quando o gesso foi aplicado, os autores verificaram raízes até a profundidade de 75 cm, bem distribuídas ao longo do perfil, onde apenas 31% estavam na camada mais superficial, até 15 cm.

Com o uso do gesso há melhor distribuição relativa do sistema radicular em profundidade. A aplicação de gesso também melhora a absorção de N, P, K, Ca e S em condições de deficiência de água proporcionando um aumento na produção de grãos (CAIRES et al, 2001).

Souza et al. (1992) avaliando a interferência do gesso na produção de milho, trigo e soja em situação de verão notaram aumentos de produtividade nas três culturas, sendo que o milho e o trigo apresentaram um maior aumento relativo com relação a soja.

Nesse sentido, o objetivo principal do estudo foi avaliar o efeito de doses de gesso agrícola sobre os atributos físicos do solo, teores de nutrientes (solo e planta), bem como o desenvolvimento das culturas do trigo e da soja em sucessão em SPD.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 Gessagem e os atributos químicos e físicos do solo

O gesso agrícola ou fosfogesso ou sulfato de cálcio desidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, obtido pela ação do ácido sulfúrico sobre a rocha fosfática. Sua composição química é praticamente neutra, não interferindo na acidez ativa do solo (REGO et al., 2017).

A composição química do gesso agrícola contribui para sua rápida ação, quando comparada ao carbonato de cálcio (calcário), devido a sua maior solubilidade

em água. Após a dissociação por hidrólise, os íons Ca^{2+} estão disponíveis para a solução do solo ou adsorvidos ao complexo de troca catiônica, enquanto os íons sulfato (SO_4^{2-}), por serem mais solúveis, são capazes de percolar mais facilmente no solo e, assim, reagir com Al^{3+} em profundidade, atuando como um condicionador de solo (REGO et al., 2017).

A utilização do gesso deve basear-se em critérios técnicos de acordo com o tipo de solo, doses, cultura e regime pluviométrico. O gesso em função do tipo de solo pode apresentar diferentes comportamentos. Há distintas formas de recomendação, entretanto para o Estado do Paraná é adotado a seguinte recomendação: seguindo a análise de solo, na profundidade de 20-40 cm, a qual deve indicar saturação por Al superior a 20% e/ou quando o nível de Ca é inferior a $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ também nesta camada. Nesses casos, a dose de gesso sugerida é de 700, 1200, 2200 e 3200 kg ha^{-1} para solos com até 200 g kg^{-1} de argila, de 200 a 400 g kg^{-1} de argila, de 400 a 600 g kg^{-1} de argila e com mais de 600 g kg^{-1} de argila, respectivamente, sendo de cinco anos o efeito residual mínimo dessas doses (SBCS/NEPAR, 2017).

Em períodos de veranico, no entanto, a exploração do solo pelo sistema radicular pode estar limitada à camada superficial, principalmente em casos de baixos níveis de Ca em profundidade, diminuindo a absorção de água e nutrientes. A aplicação de gesso, portanto, pode ser uma alternativa para o aumento da distribuição do sistema radicular pelo perfil do solo (CAIRES et al., 2001) por causa, principalmente, da melhoria do subsolo (CAIRES et al., 2003), ocasionando assim, aumento da absorção de água e nutrientes presentes no perfil (SOUSA et al., 2005).

Para solos tropicais em SPD no Brasil existem critérios estabelecidos na determinação da dose de gesso a ser aplicado no solo. Rajj (2007) e CFSEMG (1999) para solos do estado de São Paulo e Minas Gerais, respectivamente, consideram os teores de Ca, Mg e Al, com amostragens pelo menos até 40 cm em culturas anuais, com recomendação de gesso quando a saturação por Al for superior a 30% e ou teor de Ca for menor a $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e ou $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al nas camadas subsuperficial.

Entretanto, Souza et al. (2005) para solos do cerrado recomendam gessagem para culturas anuais em função da classificação textural do solo, ou seja, cinco vezes o teor de argila (g kg^{-1}) ou 50 vezes teor de argila em percentual. No

Paraná, os mesmos critérios foram adotados pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Estadual do Paraná da (SBCS/NEPAR, 2017).

Caires e Guimarães (2018) propuseram uma nova fórmula para recomendação da gessagem baseada na elevação da saturação por cálcio para 60% da CTCef da camada de 20 – 40 cm. Recomenda-se o método quando a saturação por cálcio nesta camada for inferior a 54%.

Estima-se que cerca de 95% do enxofre (S) no solo está na forma orgânica (SHERER, 2001). Desta forma, a disponibilidade deste nutriente está estreitamente relacionada com o teor e a velocidade de mineralização da matéria orgânica do solo (MOS). Em solos argilosos e altamente intemperados como os Latossolos, o sulfato (SO_4^{2-}) é adsorvido aos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) em condições de baixo pH (POZZA et al., 2009).

Em áreas manejadas sob SPD, tem se observado a formação de um gradiente de concentração de nutrientes e da MOS ao longo do perfil, devido ao cultivo sem revolvimento do solo (DALLA NORA; AMADO, 2013). Os maiores valores de pH e de fósforo (P) na camada superficial do solo faz com que o SO_4^{2-} seja mais facilmente carregado para camadas subsuperficiais (20–40 cm) onde o solo possui maior capacidade de adsorver sulfato (CASAGRANDE, 2003).

A ocorrência de deficiência de S no solo está ligada principalmente aos usos de fertilizantes com baixa concentração de S e uma alta remoção do elemento pelos grãos, sem sua reposição (ROUACHED et al., 2009).

O íon SO_4^{2-} fornecido pela gessagem promove o carreamento de cátions, como Ca, Mg e K das camadas superficiais do solo, para horizontes subsuperficiais formando pares iônicos neutros, melhorando a fertilidade do solo e a nutrição mineral das espécies vegetais (SALDANHA et al., 2007).

A importância da presença do Ca^{2+} em subsuperfície se deve à sua função no crescimento radicular, pela ação na divisão celular e por esse elemento ser imóvel na planta (HAWKESFORD et al., 2012) e também pela absorção significativa e quase exclusiva pela coifa da raiz (TAIZ; ZEIGER, 2006).

O manejo de áreas em SPD por vários anos promove acúmulo de MOS no perfil do solo, principalmente em superfície, mostrando melhoria na agregação do solo, aumento da atividade biológica, maior disponibilidade de nutrientes para as culturas, complexação de elementos tóxicos, além de promover aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Entretanto, devido ao longo período de tempo sem revolvimento, essas áreas podem apresentar impedimentos físicos (compactação) e químicos ao aprofundamento do sistema radicular das culturas. Diante disso, a gessagem ou o revolvimento do solo se tornam opções para melhoria das condições físicas do solo (NEIS et al., 2010).

Além de o gesso agrícola favorecer os atributos químicos do solo ele também pode exercer influência nos atributos físicos do solo, como a densidade, porosidade total e resistência à penetração do solo (RAIJ, 2008). O gesso também pode favorecer a agregação, e conseqüente melhoria na estrutura do solo. 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). Dessa forma, poderá haver conseqüente melhoria de desenvolvimento e produtividade das culturas implantadas na área.

O efeito residual da gessagem nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob SPD foram avaliados por Müller et al. (2012). Após 50 meses da aplicação superficial de gesso, a resistência à penetração não foi afetada pelo efeito residual da gessagem na camada superficial, porém, na camada subsuperficial do solo ocorreu aumento da RP. A densidade do solo diminuiu e a porosidade total aumentou com a gessagem até 15 cm de profundidade. A gessagem diminuiu a macroporosidade e aumentou a microporosidade na camada superficial.

Assim, em estudo realizado por Neis et al. (2010) constataram que o SPD sem revolvimento do solo apresentou maior rendimento de grãos de soja em relação ao Sistema de Preparo Convencional, independentemente da dose de gesso aplicada no experimento estudado.

1.2.2 Cultura do Trigo

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos cereais mais produzidos no mundo e, devido ao seu aprimoramento genético, possui ampla adaptação edafoclimática, sendo cultivado desde regiões de clima desértico, em alguns países do Oriente Médio, até regiões com alto índice de precipitação, como na China e Índia. No Brasil, o trigo está sendo cultivado desde a Região Sul até a região de cerrados, no Brasil Central (CONAB, 2017), se destacando com grande importância no agronegócio

nacional. O Estado do Paraná é o segundo maior produtor nacional, com uma produtividade na safra de 2018/2019 de 2.207,7 mil toneladas (CONAB, 2019).

A cultivar de trigo CD 150 utilizada no estudo apresenta ciclo precoce, possuindo Textura do grão dura, é moderadamente resistente ao acamamento, necessita de boa fertilidade do solo e é moderadamente resistente a presença de Al no solo (COODETEC, 2019).

Em relação ao uso do gesso em estudo realizado por Da Rosa et al. (2018), obtiveram produtividade de trigo superior com a utilização da dose de 1000 kg ha⁻¹ de gesso, na condição de um Nitossolo de textura argilosa. Contudo, Caires et al. (1999) relatam que os resultados com experimentos de gesso na cultura do trigo se apresentam divergentes na literatura.

Já Rampim et al. (2011) em um Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa constataram que o uso do gesso aumentou a produtividade da cultura do trigo, cultivar CD 104, somente em solo de média fertilidade natural com Al³⁺ presente. Em estudo realizado por Pauletti et al. (2014) a resposta foi linear e significativa, porém considerando-se 10% de probabilidade. Os dados obtidos pelos autores confirmaram a relação existente entre monocotiledôneas e gesso, pois, as monocotiledôneas absorvem com maior eficiência cátions monovalentes; assim, a presença de cátions divalentes em profundidade em razão da aplicação do gesso favoreceu a absorção desses e conseqüentemente o desenvolvimento dessas espécies.

1.2.3 Cultura da Soja

A soja (*Glycine max* L.) é considerada uma das culturas mais cultivadas no mundo, sendo o Brasil um dos maiores produtores, no último ano agrícola 2018/2019 foram cultivados cerca de 35,9 milhões de hectares e produção de 115 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

A região Sul, destaca-se no cenário nacional como a terceira maior produtora de soja, responsável por cerca de 35% da produção. O Paraná, destinou cerca de 5 milhões de hectares, para a produção de soja e em função das altas tecnologias empregadas e condições climáticas favoráveis, apresentou média de produtividade de 3.500 kg ha⁻¹(CONAB, 2019).

A cultura da soja apresenta algumas vantagens em relação a outras leguminosas, como elevada fonte de proteína e óleo (SILVA et al., 2006), utilizada tanto para alimentação humana como animal. Oferece também grande emprego na indústria em função dos diversos produtos produzidos e ao seu consumo (MELLO et al., 2004).

Com a utilização de gesso agrícola em Latossolo Vermelho Distrófico, a cultura da soja apresentou resposta positiva com a dose de 2 ton ha⁻¹, promoveu o melhor desempenho produtivo na cultura, sendo a produtividade máxima observada no estudo de 3.422 kg ha⁻¹ de grãos (ASCARI; MENDES, 2017).

Zandoná et al. (2015) verificaram que o gesso agrícola aumentou produtividade de grãos de milho e de soja, com resposta até a dose de 2 ton ha⁻¹ em condição de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, com incrementos de 9,3% para o milho e 11,3% para a soja. Contudo, em diferentes trabalhos a cultura da soja não resultou em incrementos de produtividade de grãos com a adição de doses de gesso (MASCHIETTO 2009; NEIS et al., 2010)

1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCARI, J. P.; MENDES, I. R. N. Desenvolvimento agrônomo e produtivo da soja sob diferentes doses de gesso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 4, 2017.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.7-18.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.

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

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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A Novel Phosphogypsum Application Recommendation Method under Continuous No-Till Management in Brazil. **Agronomy Journal - Soil Fertility and Crop Nutrition**, v. 110, n. 5, p. 1987-1995, 2018.

CASAGRANDE, J.C. 2003. Considerações sobre recuperação da fertilidade do solo para áreas degradadas. p. 92-93. In: Anais do Seminário temático sobre recuperação de áreas degradadas. São Paulo, FAPESP IBt/SMA.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **A cultura do trigo**. Organizadores: Aroldo Antonio de Oliveira Neto e Candice Mello Romero Santos. – Brasília: Conab, 2017. 218 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_03_16_09_46_a_cultura_do_trigo_versao_digital_nova_logo.pdf>. Acesso: 28 mar. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V.6 - Safra 2018/19 - Décimo segundo levantamento. Brasília. p. 1 - 126. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso: 28 nov. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 5 - SAFRA 2017/18 - N. 6 - Sexto levantamento. 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_03_13_14_15_33_grao_marco_2018.pdf>. Acesso: 28 nov. 2019.

COODETEC. **CD 150. 2019.** Disponível em:<http://www.coodetec.com.br/php/detalhes_cultivar.php?id=63>. Acesso: 16 jan. 2020.

COSTA, M.J.; ROSA JUNIOR, E.J.; ROSA, Y.B.C.J.; SOUZA, L.C.F.; ROSA, C.B.J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v.29, n. 5, p.701-708, 2007.

CRUSCIOL, C. A. C.; FOLTRAN, R.; ROSSATO, O. B.; MCCRAY, J. M.; ROSSETTO, R. Effects of surface application of calcium magnesium Silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1843-1854, 2014.

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

DA ROSA, F. T.; MANTOVANI, A.; ZILIO, M.; PEREIRA, T.; CAMPIONI, D. C.; MICHELON, D. Efeito do Gesso Agrícola e Calcário na Produtividade e no Teor de Nutrientes nas Folhas de Trigo. In: XII reunião sul brasileira de ciência do solo, 2018, Xanxerê. Anais. Xanxerê: UNOESC, 4p.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S.; WHITE, P. **Functions of macronutrients**. In: MARSCHNER, P., ed. Mineral nutrition of higher plants, 3.ed. New York, Elsevier, 2012. p.171-178.

LIMA, R. C.; DE MELLO, L. M. M.; YANO, E. H.; DA SILVA, J. O. R.; CESARIN, A.L. Modalities for soil preparation and gypsum application in ultisol: system productivity of sugar cane. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1180-1190, 2013.

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

MELLO FILHO, O. L.; SEDIYAMA, C. S.; MOREIRA, M. A.; REIS, M. S.; MASSONI, G. A.; PIOVESAN, N. D. Grain yield and seed quality of soybean selected for high protein content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 445-450. 2004.

MICHALOVICZ, L.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S.; KAWAKAMI, J.; DO NASCIMENTO, R.; KRAMER, L. F. M. Soil fertility, nutrition and yield of maize and barley with gypsum application on soil surface in no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1496-1505, 2014.

MÜLLER, M.M.L., C.A. TORMENA, A.M. GENÚ, L.F.M. KRAMER, L. MICHALOVICZ, & E.F. CAIRES. Structural quality of a no-tillage Red Latosol 50 months after gypsum application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36. p. 1005-1013, 2012.

NEIS, L; PAULINO, H. B.; DE SOUZA, E. D.; DOS REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, 2010.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A.; FAQUIN, V.; MACIEL, G. A.; NEVES, B. P.; MACHADO, E. L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas

solteiras e consorciadas. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 529-598, 2009.

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

POZZA, A.A.A.; CURTI, N.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.G.S.M.; COSTA, E.T.S.; ZULIANI, D.Q.; MOTTA, P.E.F.; MARTINS, R.S.; OLIVEIRA, L.C.A. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética. **Química Nova**, v.32, n.1, p. 99-105, 2009.

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

RAIJ, B. 2008. **Gesso na agricultura**. IPNI. International Plant Nutrition Institute. Disponível em: <https://www.ipni.net/ppiweb/brazil>. Acesso em: 21 jan. 2020.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V.F.; DE LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio magnésio potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.

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

REGO, C. A. R. M.; SAMPAIO, M. C.; SEIDEL, E. P.; OLIVEIRA, P. S. R.; SCHILLER, A. P.; SCHONS, D. C.; MANFRIN, J.; COSTA, B. P.; HERRERA, J. L. Influence of gypsum on the physical properties of agricultural Soil. **Asian Academic Research Journal of Multidisciplinar**. Asia, v.4, n.12, p. 133-146. 2017.

RICCE, W. S.; ALVES, S. J.; PRETE, C. E. C. Época de dessecação de pastagem de inverno e produtividade de grãos de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1220- 1225, 2011.

ROUACHED, H.; SECCOA. D.; ARPAT, B. Getting the most sulfate from soil: Regulation of sulfate uptake transporters in Arabidopsis. *Journal of Plant Physiology*, v. 166, n. 9, p. 893-902, 2009.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R. Efeitos da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 103-109, 1984.

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

SCHERER, H.W. Sulphur in crop production. *Europea Journal of Agronomy*, v.14, p. 81-111, 2001.

SILVA, M. S.; NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, O. S. M. Composição química e valor protéico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, n. 3, p. 571-576, 2006

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

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

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T.R.; LOBATO, E.; RITCHEY, K.D. Sugestões para diagnose e recomendação de gesso em solos de Cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE

O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. Anais... São Paulo: IBRAFOS, 1992. p. 139-158.

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

SUMNER, M. E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 1254- 1258, 1986.

TAIZ, L & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 819p.

VITTI, G. C.; MALAVOLTA, E. **Fosfogesso: uso agrícola**. In **MALAVOLTA, E. (org). Seminário sobre Corretivos Agrícolas**. Campinas, Fundação Cargill, p. 161-201, 1985.

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

2. SEGUNDO CAPÍTULO – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NAS CULTURAS DO TRIGO E DA SOJA APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO

RESUMO: A aplicação de gesso agrícola pode melhorar o ambiente subsuperficial do solo e promover o crescimento radicular das plantas em profundidade em solos manejados em SPD e aumentar os teores de nutrientes na planta. O objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos das doses de gesso sobre os atributos químicos do solo e acúmulo de nutrientes pelas culturas do trigo e da soja após a aplicação do gesso agrícola. O experimento foi implantado em 2018, na Estação Experimental da Copagril, pertencente a Cooperativa Agroindustrial Copagril, no município de Marechal Cândido Rondon – PR, em Latossolo Vermelho Eutroférico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, os tratamentos constituídos por seis doses de gesso (0, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 kg ha⁻¹), com quatro repetições. As amostras de tecido vegetal foram coletadas por ocasião do florescimento na cultura do trigo (cultivar CD 150) e da soja (cultivar 96Y90). Em seguida, foram analisadas em laboratório para quantificação dos teores de Ca, Mg, K e S. Já as amostras de solo foram coletadas com auxílio de um trado, 18 meses após a aplicação das doses de gesso agrícola, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, para determinação do pH CaCl₂, H+Al, teores de Ca, Mg, S e K disponível, CTC_{pH7,0} e saturação por bases. A aplicação de gesso não influenciou nos teores de acidez ativa e de K do solo avaliado. Provocou aumento da acidez potencial do solo até a dose 2400 e 1200 kg ha⁻¹ na camada de 0-10 e 20-40 cm, respectivamente, redução na camada de 10-20 cm até a dose de 1200 kg ha⁻¹. A dose de 1200 kg ha⁻¹ aumentou os teores de Ca, Mg e a saturação por bases na camada de 10-20 cm e o teor de S nas duas camadas mais profundas do solo. A CTC_{pH7,0} aumentou até a dose de 2400 kg ha⁻¹. A dose de 1200 kg ha⁻¹ de gesso proporcionou aumento nos teores de K e S na cultura do trigo e Mg e K na cultura da soja.

Palavras-chave: Característica química. *Glycine max*. *Triticum aestivum*.

CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL AND THE NUTRITIONAL STATE OF WHEAT AND SOY CROPS AFTER THE APPLICATION OF PLASTER

ABSTRACT: The application of agricultural gypsum can improve the subsurface environment of the soil and promote the root growth of plants in depth in soils managed under no-tillage system and increase the nutrient content in the plant. The aim of the present study was to evaluate the effects on the chemical characteristics of the soil and on plant nutrition after the application of agricultural plaster. The experiment was implemented in 2018, at Copagrill Experimental Station, belonging to Cooperativa Agroindustrial Copagrill, in the municipality of Marechal Cândido Rondon - PR, in LATOSSOLO RED Eutroférico. The experimental design used was a randomized block, the treatments consisted of six plaster doses (0, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 kg ha⁻¹), with four replications totaling 24 plots. The samples of plant tissue were collected at the time of flowering in the wheat and soybean culture and afterwards were analyzed in the laboratory to quantify the contents of Ca, Mg, K and S. The samples for chemical determination of the soil were collected with the aid of a auger, 18 months after the application of doses of agricultural plaster, in layers of 0-10, 10-20 and 20-40 cm, to determine the pH CaCl₂, H + Al, contents of Ca, Mg, S and K available, CTC_{pH7,0} and base saturation. Plaster application did not influence the active acidity and K content of the evaluated soil. It caused an increase in the potential acidity of the soil up to the dose of 2400 and 1200 kg ha⁻¹ in the layer of 0-10 and 20-40 cm, respectively and a reduction in the layer of 10-20 cm up to the dose of 1200 kg ha⁻¹. The 1200 kg ha⁻¹ dose increased the Ca, Mg and base saturation levels in the 10-20 cm layer and the S content in the two deepest layers of the soil. CTC_{pH7,0} increased to a dose of 2400 kg ha⁻¹. The 1200 Kg ha⁻¹ dose increased the levels of K and S in wheat and Mg and K in soybean. It is possible to recommend the use of the 1200 kg ha⁻¹ dose for soils under similar conditions.

Key words: Chemical characteristic. *Glycine max.* *Triticum aestivum.*

2.1 INTRODUÇÃO

Conforme estimativas feitas pela Conab (2020), para a safra brasileira de 2019/20 está previsto incremento de 1,5% na área cultivada em comparação com a safra de 2018/2019. São estimados cerca de 64.176,4 mil hectares para esse ciclo, correspondendo a uma variação absoluta de 967,2 mil hectares, incremento influenciado basicamente pelo crescimento da área cultivada com soja, visto isso nota-se a necessidade pela busca de tecnologias para melhorar o cultivo dos vegetais no país.

Desde a década de 1990, o gesso tem sido utilizado no SPD para minimizar problemas de acidez, pela redução na toxicidade por Al^{3+} . O gesso reage com o Al^{3+} precipitando-o (ZAMBROSI et al., 2007) e fazendo com que ele fique em formas menos tóxicas ($AlSO_4^+$), além de aumentar os teores de Ca e S no subsolo (NEIS et al., 2010).

Além disso, sua ação ocorre em maior profundidade que a do calcário, pois se movimenta cerca de 150 vezes mais (MASCHIETTO, 2009). Assim, o gesso é considerado um condicionador de solo e pouco afeta o pH (MEURER et al., 2004), podendo compensar o efeito superficial do calcário, pois atua até em subsuperfície, sem a necessidade de incorporação (CAIRES et al., 2003).

O gesso tem sido utilizado como condicionador de solos ácidos e solos argilosos e como suprimento de nutrientes (QUAGGIO et al., 1993), reduzindo a saturação de Al (ROTH et al., 1986), modificando as características químicas do solo para o crescimento de plantas (SOUZA et al., 2012). Desta forma, a utilização de gesso permite evitar a interrupção do SPD, uma vez que não há mais revolvimento do solo nesse sistema de cultivo, após sua implantação.

A textura do solo é um fator determinante da maior lixiviação de cátions promovida pela aplicação de gesso. Solos arenosos, com maior infiltração de água, menor teor de matéria orgânica devido a menor proteção físico-química (STOCKMANN et al., 2013) e, conseqüentemente, menor capacidade de troca de cátions (CTC), são mais propensas a perdas por lixiviação que solos argilosos. Por isso, muitos dos critérios técnicos utilizados para recomendação de gesso no Brasil levam em consideração a textura do solo.

A aplicação de gesso em áreas de PD pode proporcionar um maior desenvolvimento do sistema radicular e, por conseguinte, acréscimo na produção de

culturas no sistema mecanizado, principalmente, em áreas com culturas de segunda safra, as quais estão mais susceptíveis a ocorrência de déficits hídricos (ZANDONÁ et al., 2015).

Quanto aos benefícios da utilização do gesso agrícola sobre os teores foliares de nutrientes, existem estudos que mostram o aumento nas concentrações de Ca, Mg, K e S (MODA et al., 2013). Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos das doses de gesso sobre os atributos químicos do solo e acúmulo de nutrientes pelas culturas do trigo e da soja após a aplicação do gesso agrícola.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental da Copagril, localizada na coordenadas $24^{\circ} 31' 58''$ S e $54^{\circ} 01' 10''$ W, com altitude aproximada de 400 m, pertencente à Cooperativa Agroindustrial Copagril de Marechal Cândido Rondon, PR, em Latossolo Vermelho Eutroférico (SANTOS et al., 2013). A área utilizada é conduzida em sistema de plantio direto há mais de 10 anos (consolidado), sendo milho, soja, milho, trigo e soja o histórico de cultivo dos últimos 2 anos. O solo da área experimental foi coletado com auxílio de um trado e analisado para determinação de suas características físico-químicas antes da implantação do experimento (Tabela 1).

Tabela 1 - Características químicas e granulométricas do solo, na camada de 0 a 40 cm de profundidade, antes da aplicação das doses de gesso agrícola, em 2017, no município de Marechal Cândido Rondon – PR

Prof.	P	pH	H+Al	Al	K	Ca	Mg	CTC	SB	S
Cm	mg dm ⁻³	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³
0-20	59,08	4,67	8,02	0,39	1,00	4,80	1,20	15,01	6,99	6,78
20-40	18,51	4,70	6,19	0,29	0,65	4,16	1,02	12,03	5,83	10,79
Prof.	V	m	MOS	Argila		Silte		Areia		
Cm	-----%-----		g dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----						
0-20	46,45	5,28	39,71	578		357		65		
20-40	48,48	4,73	23,38	591		360		49		

Prof.: profundidade. P e K – Extrator MEHLICH-1; Al, Ca e Mg = KCl 1 mol L⁻¹; H+Al = pH SMP (7,5).

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen é tipo Cfa, mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes. As temperaturas médias do trimestre mais frio variam entre 17°C e 18°C e do trimestre mais quente entre 28°C e 29°C. Os totais anuais médios normais de precipitação pluvial para a região variam de 1.600 a 1.800 mm, com trimestre mais úmido apresentando totais que variam entre 400 a 500 mm (NITSCHKE, 2019).

No período de condução do experimento foram coletadas as informações meteorológicas, como a precipitação pluviométrica, obtidos na Estação experimental da Copagril localizada no município de Marechal (Figura 1).

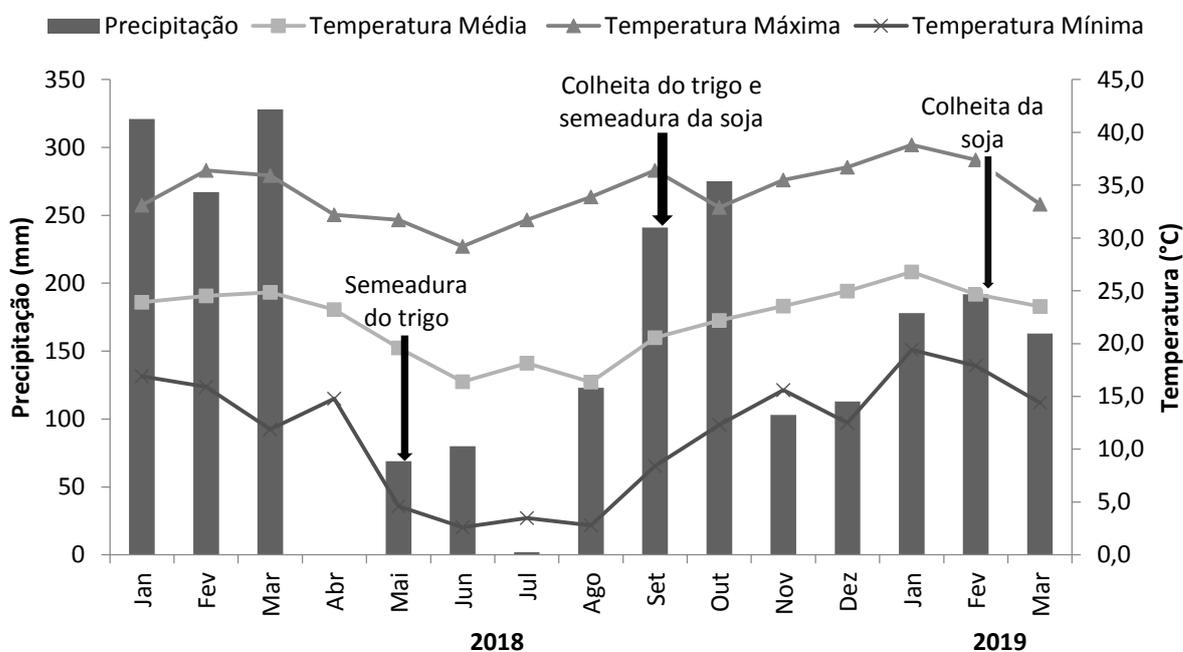


Figura 1. Precipitação pluviométrica acumulada durante os meses dos anos de 2018 e 2019 do período experimental.

Fonte: Estação Experimental da Copagril, Marechal Cândido Rondon – PR.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com os tratamentos consistiram em seis doses de gesso agrícola (0, 600, 1200, 2400, 4800 e 9600 kg ha⁻¹), quatro repetições. Cada parcela apresentava as dimensões de 10 x 10 m. Quanto à calagem não foi realizada na área experimental durante a condução do ensaio. Já a aplicação do gesso em dose única foi realizada em agosto de 2017, manualmente sobre a superfície do solo e sem incorporação.

A cultura do trigo foi semeada no dia 11 de maio de 2018, com semeadora adubadora, em sistema de semeadura direta sobre palhada de milho, utilizou-se a cultivar CD 150, com espaçamento entre linhas de 17 cm e 412 sementes por m². A adubação de base para a cultura do trigo não foi realizada, pois com base na análise química do solo os teores contidos no solo estavam de acordo com a demanda da cultura. Já para a adubação de cobertura, foi aplicado 100 kg ha⁻¹ de N (27-00-00) de forma mecanizada, uma vez aos 20 DAS, visando alta produtividade de grãos.

Os tratos culturais foram realizados conforme houve necessidade, sendo utilizados os inseticidas: Alfa - Cipermetrina + Teflubenzurom; Tiametoxam + Lambda - Cialotrina nas doses de 100 mL ha⁻¹ e 50 mL ha⁻¹ de produto comercial, respectivamente, com volume de calda de 150 L ha⁻¹ e 200 L ha⁻¹ respectivamente; fungicidas: Tebuconazole; Trifloxistrobina + Tebuconazole; Azoxistrobina + Ciproconazol e Propiconazol, nas doses de 600; 600; 300 e 500 mL ha⁻¹ de produto comercial com volume de calda 200; 100; 100 e 300 L ha⁻¹, respectivamente; e herbicida: Metsulfuron metílico na dose de 3,3 g ha⁻¹ de produto comercial com volume de calda de 100 L ha⁻¹.

Já a cultura da soja foi semeada no dia 21 de setembro de 2018, com semeadora adubadora, em sistema de plantio direto, utilizou-se a cultivar Pioneer 96Y90, com espaçamento entre linhas de 50 cm, densidade de semeadura de 16 sementes por metro linear e profundidade de 4 cm. A adubação de base foi de acordo com a análise química do solo e de acordo com o sistema de recomendação proposto pela Farias et al. (2004); assim, o adubo utilizado foi o formulado 02-20-18 na dose de 300 kg ha⁻¹.

Em relação aos manejos fitossanitários foram realizadas aplicações de fungicidas: trifloxistrobina + proclorazoxiprol e azoxistrobina + ciproconazol nas doses de 400 e 300 mL ha⁻¹ de produto comercial e volume de calda de 150 e 100 L ha⁻¹ respectivamente; herbicida: glifosato na dose de 3 L ha⁻¹ de produto comercial e volume de calda de 300 L ha⁻¹; e inseticidas: alfa - cipermetrina + teflubenzurom; imidacloprido + beta - ciflutrina; acefato + silicato de alumínio e tiametoxam + lambda - cialotrina na dose de 150; 500; 500 e 200 mL ha⁻¹ de produto comercial e volume de calda de 150; 100; 500 e 200 L ha⁻¹, respectivamente.

Quanto as avaliações do tecido vegetal na cultura do trigo e da soja, foram coletadas amostras de tecido foliar em pleno florescimento, conforme os procedimentos recomendados quanto à época e folhas amostradas por Malavolta et

al. (1997), para a determinação dos teores de Ca, Mg, K e S, análises realizadas após digestão nitro-perclórica (MIYAZAWA et al., 1999). As análises de K foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do solo e Nutrição Mineral de Plantas pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e as análises de Ca, Mg e S no laboratório pertencente a PrimorLab, localizado em Assis Chateaubriand – PR. Para as análises de tecido, o material foi seco em estufa com ventilação forçada de ar, sob temperatura de 65°C por 72 horas, após foi moído em moinho tipo Willey para a determinação das concentrações de K, S, Ca e Mg (MIYAZAWA et al., 2009).

Quanto as avaliações dos atributos químicos do solo (18 meses após a aplicação das doses de gesso), foram coletadas em seis pontos por parcelas nas camadas de 0- 10, 10 -20 e 20 - 40 cm, intercaladas em linhas e entre linhas, formando uma amostra composta de cada profundidade na área de cada parcela, que foram encaminhadas para o laboratório.

Após secagem a 30°C e peneiramento a 2 mm, foram determinados o pH do solo em solução CaCl_2 0,01 mol L⁻¹; o pH do solo em solução SMP para estimar a acidez potencial do solo (H+Al); K disponível extraído por Mehlich-1, sendo o K determinado por fotômetro de chama; S disponível extraído com fosfato de cálcio (500 mg L⁻¹ de P em ácido acético (HOAc) 2 mol L⁻¹) com posterior determinação pelo método turbidimétrico; Ca e Mg trocáveis extraídos, com KCl 1,0 mol L⁻¹, sendo o Ca e o Mg determinado por espectrometria de absorção atômica (MIYAZAWA et al., 1991). As análises de solos foram realizadas no laboratório de Fertilidade e Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil e no laboratório pertencente a PrimorLab, localizado em Assis Chateaubriand – PR.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística pelo teste F à 5% de probabilidade e quando constatada a significância para as doses de gesso foi utilizada a análise de regressão, com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de gesso ao solo até a dose de 9600 kg ha⁻¹ não influenciou os valores de pH do solo nas três profundidades avaliadas (Tabela 2), coincidido com os resultados encontrados por Jimenez et al. (2007) e Fois (2018). Ramos et al.

(2006) e Caires et al. (2003) constataram que o gesso não modifica a acidez ativa do solo. O gesso é um sal neutro, não sendo esperadas alterações no pH do solo (RAIJ, 2011).

Tabela 2 - Teores médios e resumo da análise de variância para pH CaCl₂, H+Al e S no solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade na coleta após 18 meses da adição de doses de gesso agrícola no município de Marechal Cândido Rondon - PR

Doses de gesso kg ha ⁻¹	pH (CaCl ₂)			H+Al (cmol _c dm ⁻³)			S (mg dm ⁻³)		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
0	4,6	4,1	4,6	8,6	10,1	5,9	10,0	17,1	28,2
600	4,5	4,4	4,8	8,7	9,5	5,6	12,7	19,6	23,9
1200	4,5	4,3	4,7	9,3	9,4	6,5	14,4	21,3	37,5
2400	4,3	4,1	4,9	10,2	10,7	5,0	12,3	15,6	18,5
4800	4,5	4,2	5,0	8,9	10,3	4,9	11,5	15,4	24,2
9600	4,4	4,2	4,9	9,7	10,4	5,1	13,6	27,3	26,7
Média	4,5	4,2	4,8	9,2	10,0	5,5	12,4	19,42	26,53
Valores de F									
F Bloco	0,14*	0,77 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,54*	0,57*	0,85 ^{ns}	0,58*	0,79 ^{ns}	0,62 ^{ns}
F Gesso	0,75 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,58*	0,61*	0,52*	0,77 ^{ns}	0,37*	0,36*
F linear				0,43*	0,32*	0,22*		0,15*	0,72 ^{ns}
F quadrático				0,62 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,39*		0,15*	0,44*
CV (%)	5,73	5,41	7,65	15,77	12,08	23,46	35,55	43,18	44,10

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo. CV(%): Coeficiente de variação.

Os valores de H+Al foram influenciados pelas doses de gesso, nas três camadas de solo avaliadas aos 18 meses após a aplicação do gesso (Tabela 2, Figura 2ABC), contrariando os resultados obtidos por Vicensi et al. (2016), Rampim et al. (2011) e Caires et al. (2004), que não verificaram diferenças, em solos de condições semelhantes. As doses de gesso não influenciaram os teores de S na camada 0-10 cm, contudo incrementaram de forma linear o teor de S na camada de 10-20 cm (Tabela 2, Figura 2D) e de forma quadrática na camada de 20-40 cm (Figura 2E) 18 meses após a aplicação do gesso, em concordância com Caires et al. (2003) que observaram que o SO₄⁻² proveniente do gesso estava distribuído regularmente por todo o perfil até a profundidade de 0,60 m. A presença de maior

teor de MOS na camada superficial inicialmente (Tabela 1), pode acentuar a movimentação do íon SO_4^{2-} no solo (CAIRES et al., 2004).

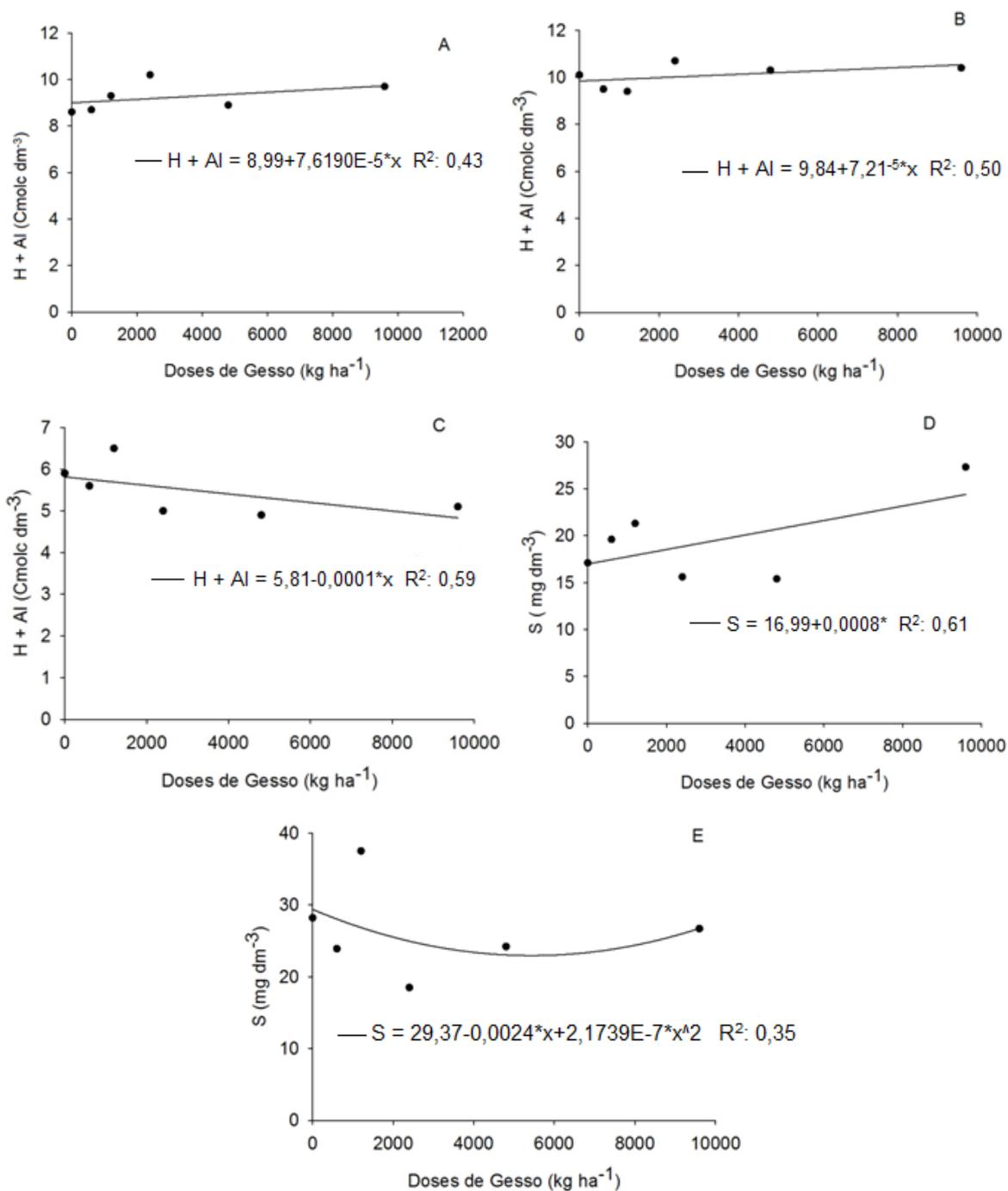


Figura 2 - Teores de H+Al 0-10 cm (A), H + Al 10-20 cm (B), H + Al 20-40 cm (C), S 10-20 cm (D) e S 20-40 cm (E) no solo aos 18 meses após a aplicação das doses de gesso agrícola.

Segundo Ebeling et al. (2008), observou que o teor de MO correlacionou positiva e significativamente ($p < 0,05$) com o teor de hidrogênio extraível e com acidez potencial, ou seja, quanto maior o teor de MO nos solos maior tenderá a ser sua acidez.

Após 18 meses da aplicação das doses de gesso ocorreu um aumento linear dos teores de Ca na camada de 10-20 cm (Tabela 3, Figura 3A) concordando com Caires et al. (2004) e Saldanha et al. (2007) que também mostraram aumento nos teores de Ca. O gesso possui a capacidade de aumentar o teor de Ca no solo devido a sua alta solubilidade, principalmente quando utilizado doses altas de gesso, que alcançam até 12 ton ha^{-1} (CAIRES et al., 2003; 2004).

Comparando os valores de concentração de Mg no início do experimento (Tabela 1), observa-se uma redução linear do teor de Mg na profundidade 10-20 cm dezoito meses após a aplicação do gesso (Tabela 3, Figura 3A). Vicensi et al. (2016) relatam decréscimos lineares de Mg nas camadas de 0-10 e 10-20 cm do solo, semelhante a outros estudos (SORATTO; CRUSCIOL, 2008; CAIRES et al., 2011). As camadas de 0-10 e 20-40 cm após a aplicação não foram afetadas significativamente.

Ressalta-se a importância de considerar os teores iniciais de Mg do solo para recomendações de doses de gesso a aplicar, para o manejo deste nutriente em função da elevada influência promovida pelo gesso em sua disponibilidade (Tabela 3). Conforme Fois (2018) uma boa estratégia seria aplicação de doses baixas de gesso, de até 1600 kg ha^{-1} , onde as concentrações de Mg no solo mantiveram-se adequadas acima do teor crítico recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciência do solo, que é $>1,0 \text{ cmol dm}^{-3}$ para o apropriado desenvolvimento das culturas. Também como alternativa pode-se utilizar o calcário dolomítico ou termofosfato magnésiano aliado à aplicação de elevadas doses de gesso.

Não houve alterações nos teores de K em nenhuma das camadas avaliadas (Tabela 3), mantendo-se os teores iniciais do nutriente (Tabela 1). Vittum et al. (1968) relatam que a migração do K pode-se tornar um processo lento na maioria dos solos, acreditando que a fixação do K e a CTC são mecanismos altamente eficientes no armazenamento que dificulta suas perdas. A adição anual de K para as culturas por meio da adubação favorecem para manter os teores adequados em superfície, sem movimentação significativa em profundidade.

Os valores de saturação por bases nas camadas de 0-10 e 20-40 cm não foram influenciados em função das doses de gesso adicionadas, contudo na camada de 10-20 cm houve aumento linear nos valores até a dose de 1200 Kg ha⁻¹ (Tabela 4, Figura 4A. Em relação à CTC do solo, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm houve efeito quadrático (Figura 4BC) mostrando incremento até a dose de 1200 Kg ha⁻¹, apenas na camada avaliada de 20-40 cm houve efeito linear também com incrementos até a dose de 1200 Kg ha⁻¹ (Tabela 4, Figura 4D), corroborando com os resultados obtidos por Rampim et al. (2011) num Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa em que observaram aumento na CTC efetiva nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm e aumento na saturação de bases na camada de 20-40 cm em função do aumento do teor de Ca em profundidade, com doses crescentes de gesso entre 1 a 5 t ha⁻¹ após seis e doze meses da sua aplicação.

Tabela 3 - Teores médios e resumo da análise de variância para Ca, Mg e K no solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade na coleta após 18 meses da adição de doses de gesso agrícola no município de Marechal Cândido Rondon - PR

Doses de gesso kg ha ⁻¹	Ca (cmol _c dm ⁻³)			Mg (cmol _c dm ⁻³)			K (cmol _c dm ⁻³)		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
0	4,98	3,50	2,95	1,07	0,80	0,73	0,73	0,56	0,44
600	5,43	4,80	3,50	0,99	0,91	0,85	0,70	0,61	0,48
1200	5,40	5,05	3,36	0,88	0,80	0,69	0,60	0,49	0,43
2400	5,37	3,49	3,28	0,80	0,67	0,92	0,57	0,49	0,48
4800	5,29	3,97	3,48	0,90	0,78	0,82	0,69	0,54	0,43
9600	4,46	3,75	3,39	0,85	0,69	0,81	0,65	0,52	0,43
Média	5,16	4,09	3,33	0,91	0,77	0,80	0,65	0,54	0,45
Valores de F									
F Bloco	0,97 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,12 [*]	0,33 [*]	0,95 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,39 [*]
F Gesso	0,9 ^{ns}	0,17 [*]	0,90 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,61 [*]	0,74 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,97 ^{ns}
F Linear		0,36 [*]			0,28 [*]				
F Quadrático		0,98 ^{ns}			0,73 ^{ns}				
CV (%)	31,16	24,59	21,85	31,48	25,61	27,69	26,35	23,13	30,41

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo. CV(%): Coeficiente de variação.

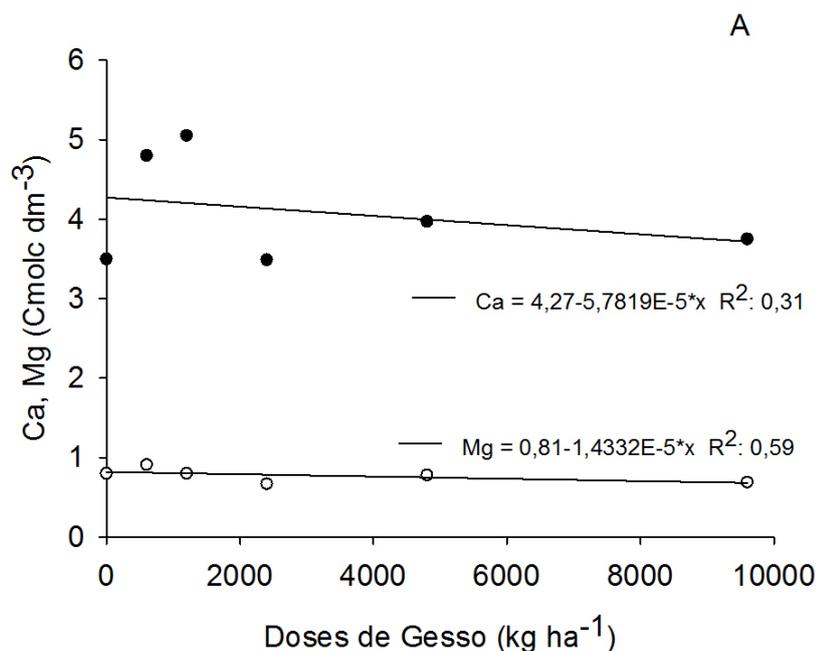


Figura 3 - Teores de Ca e Mg na profundidade de 10-20 cm (A) no solo aos 18 meses após a aplicação das doses de gesso agrícola.

Tabela 4- Teores médios e resumo da análise de variância para V % e CTC_{pH7,0} do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade na coleta após 18 meses da adição de doses de gesso agrícola no município de Marechal Cândido Rondon - PR

Doses de gesso Kg ha ⁻¹	V %			CTC _{pH7,0}		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
0	43,94	32,38	41,68	15,41	14,97	10,05
600	44,84	39,84	46,06	15,85	15,87	10,54
1200	42,78	40,21	41,13	16,18	15,76	10,99
2400	39,06	30,50	48,25	17,02	15,39	9,70
4800	43,51	34,05	48,76	15,78	15,63	9,73
9600	38,09	31,97	47,42	15,64	15,43	9,77
Média	42,04	34,82	45,55	15,98	15,51	10,13
Valores de F						
F Bloco	0,89 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,24*	0,29*	0,05*
F Gesso	0,89 ^{ns}	0,36*	0,77 ^{ns}	0,24*	0,48*	0,17*
F Linear		0,32*		0,68 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,13*
F Quadrático		0,86 ^{ns}		0,15*	0,46*	0,46*
CV (%)	23,71	22,23	20,82	5,83	4,28	7,77

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo. CV (%): Coeficiente de variação.

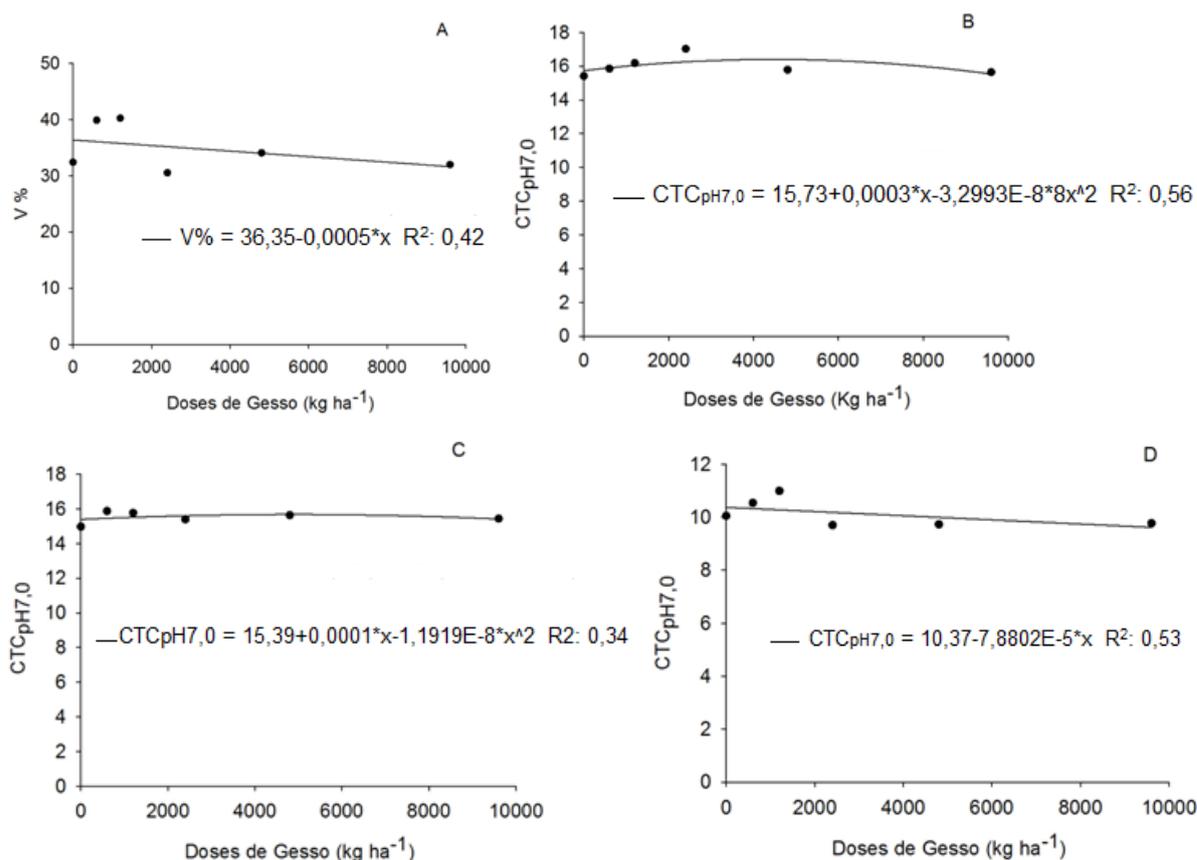


Figura 4 - Teores de V% na profundidade de 10-20 cm(A), CTC _{pH7,0} 0-10 cm (B), CTC _{pH7,0} 10-20 cm(C) e CTC _{pH7,0} 20-40 cm(D) no solo aos 18 meses após a aplicação das doses de gesso agrícola.

A aplicação de doses crescentes de gesso na cultura do trigo não interferiu significativamente nos teores de Ca e Mg (Tabela 5). Contudo, a aplicação de gesso interferiu negativamente nos teores de Ca e Mg, mesmo que não significativo estatisticamente, na cultura do trigo, enquanto a cultura da soja demonstrou ganhos de Ca, mesmo que não significativo estatisticamente, e Mg no tecido foliar em relação a cultura do trigo (Tabela 5, Figura 5C). Dessa forma, Rampim et al. (2011) constataram que é necessário avaliar as características químicas do solo para a recomendação de gesso antes da cultura do trigo, pois o gesso prejudicou a absorção de Ca e Mg. Uma opção é a aplicação de gesso antes da instalação da cultura da soja, visto que esse insumo incrementou os teores dos nutrientes no tecido foliar dessa cultura.

Tabela 5 - Valores médios de teores foliares de Ca, Mg, K e S nas culturas do trigo e da soja, em função de diferentes doses de gesso agrícola para o ano agrícola 2018/2019, Marechal Cândido Rondon - PR

Dose de gesso Kg ha ⁻¹	Trigo				Soja			
	Ca	Mg	K	S	Ca	Mg	K	S
	----- g kg ⁻¹ -----							
0	1,16	0,60	8,22	3,19	3,16	1,17	11,67	2,29
600	1,18	0,59	8,82	3,68	3,61	1,22	11,12	2,24
1200	1,17	0,61	8,77	4,13	3,55	1,12	10,40	2,22
2400	1,08	0,59	8,15	3,41	3,35	1,17	10,12	2,39
4800	1,11	0,63	8,07	3,74	3,11	1,13	9,85	2,10
9600	1,03	0,65	9,50	4,18	3,40	1,08	10,50	2,29
Média	1,12	0,61	8,59	3,72	3,36	1,15	10,61	2,25
Valores de F								
F Bloco	0,72 ^{ns}	0,48 [*]	0,01 [*]	0,53 [*]	0,31 [*]	0,61 ^{ns}	0,02 [*]	0,41 [*]
F Gesso	0,88 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,21 [*]	0,43 [*]	0,80 ^{ns}	0,54 [*]	0,38 [*]	0,91 ^{ns}
F Linear			0,13 [*]	0,19 [*]		0,13 [*]	0,27 [*]	
F Quadrático			0,09 [*]	0,92 ^{ns}		0,91 ^{ns}	0,07 [*]	
CV (%)	18,15	9,95	10,00	20,68	17,97	9,61	11,96	15,69

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns = não significativo. CV (%): Coeficiente de variação

O incremento linear do teor de K no tecido foliar da soja (Figura 5D) com o uso do gesso, alcançando teor máximo de 2,55 g kg⁻¹ com a dose de 9600 kg ha⁻¹ de gesso, pode estar relacionado ao ponto de equilíbrio na relação entre Ca, Mg e K, em que ocorre maior absorção de K pela cultura da soja. Quanto ao teor de K do trigo houve efeito significativo (Figura 5A), com teor médio de 1,86 g kg⁻¹, valor abaixo do considerado adequado por Malavolta et al. (1997), mesmo com teores adequados de K no solo.

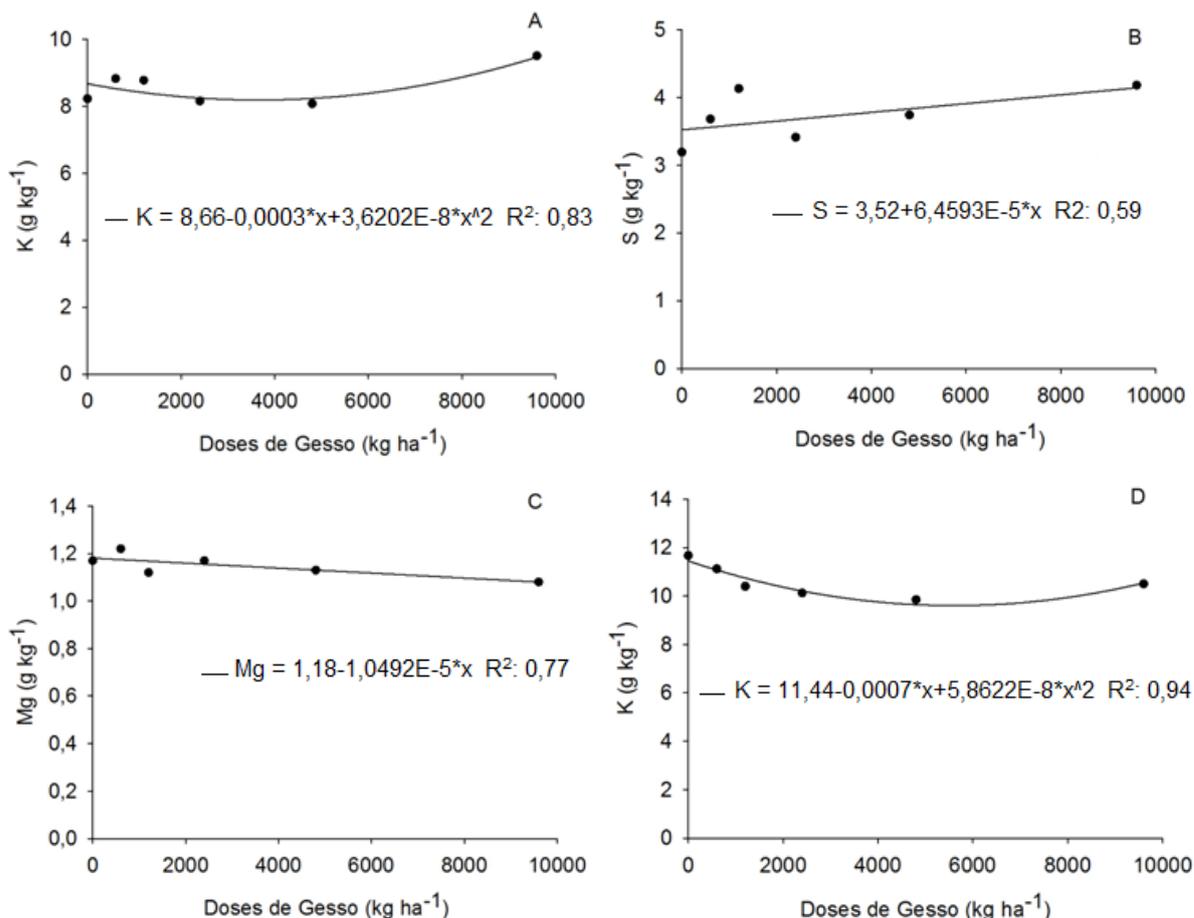


Figura 5 - Teores de K (A) e S (B) no tecido vegetal do trigo e Mg (C) e K (D) no tecido vegetal da soja.

A absorção de K pode ter sido prejudicada pela menor precipitação pluvial durante o desenvolvimento da cultura do trigo (Figura 1). Na cultura do trigo, com o aumento das doses de gesso houve redução nos teores de Ca. Todavia, como o teor de Ca do solo já estava alto (Tabela 1), o uso do gesso pode ter prejudicado a absorção do Mg na cultura do trigo. Podendo ser levada em consideração a utilização de calcário dolomítico no solo para amenizar os efeitos da redução de absorção do Mg.

Conforme Rampim et al. (2011) a cultura do trigo tem menor CTC radicular, há favorecimento da retenção de cátions monovalentes como o K, enquanto a cultura da soja apresenta maior CTC radicular e ocorre maior retenção de cátions polivalentes, como o Ca e Mg. A diferença no comportamento da absorção de Ca, Mg e K nas culturas do trigo e da soja também foi observada entre espécies dicotiledôneas com maior CTC radicular e monocotiledôneas com menor CTC radicular, como relatado por Marschner (1995).

Em estudo realizado em solo de condição de baixa fertilidade natural, a aplicação de gesso aumentou os teores foliares de Mg, K e S na cultura da soja e reduziu os teores de Ca e Mg na cultura do trigo, tanto em solo com Al^{3+} quanto em solo sem Al^{3+} (RAMPIM et al., 2011).

O incremento do teor de S no tecido foliar apresentou efeito significativo nas doses de gesso, corroborando os resultados obtidos por Caires et al. (2002) na cultura do trigo. Houve resposta linear para explicar o efeito do gesso no teor de S nas culturas do trigo. O teor máximo de S no tecido foliar do trigo (Figura 5B) foi de $4,18 \text{ g kg}^{-1}$ com a adição de 9600 kg ha^{-1} de gesso, considerado alto segundo Malavolta et al. (1997).

Não houve diferença significativa para os teores foliares de S na cultura da soja, podendo a ausência de efeito estar relacionada aos altos conteúdos desses nutrientes no solo, mesmo no tratamento testemunha mantendo-se sempre em níveis considerados suficientes para a cultura. Esses resultados estão de acordo com Savio et al. (2011) e Pauletti et al. (2014), que também não observaram alterações significativas na concentração de S no tecido foliar da soja com o uso de gesso.

2.4 CONCLUSÕES

A aplicação de gesso não influenciou a acidez ativa e o teor de K do solo avaliado. Acarretou o aumento da acidez potencial do solo até a dose 2400 e 1200 kg ha^{-1} na camada de $0-10$ e $20-40 \text{ cm}$, respectivamente e redução na camada de $10-20 \text{ cm}$ até a dose de 1200 kg ha^{-1} .

A dose de 1200 kg ha^{-1} aumentou os teores de Ca, Mg e a saturação por bases na camada de $10-20 \text{ cm}$ e o teor de S nas duas camadas mais profundas do solo. A $CTC_{pH7,0}$ aumentou até a dose de 2400 kg ha^{-1} .

A dose de 1200 Kg ha^{-1} aumentou os teores foliares de K e S na cultura do trigo e Mg e K na cultura da soja.

Sendo possível a recomendação da utilização da dose de 1200 kg ha^{-1} de gesso para solos em condições semelhantes.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIRES E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G. & GARBUIO, F.J. Lime na gypsum application on the wheat crop. **Scitia Agricola**, v.59, n.1, p.357-364, 2002.

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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

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

CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Sciencia Agricola**, v.68, n.1, p.209-2016, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 7 - SAFRA 2019/2020 - N. 4 - Quarto levantamento. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso: 10 jan. 2020.

EBELINGI, A. G.; DOS ANJOS, L. H. C.; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v.67, n.2, 2008.

FARIAS, J. R. B.; CAMPO, C. B. H.; ALMEIDA, A. M. R.; CARNEIRO, G. E. de S.; CORSO, I. C.; NETO, J. de B. F.; FERREIRA, L.P.; BASSOI, M. C.; NEUMAIER, N.; LEITE, R. M. V. B. de C.; SARAIVA, O. F.; LIMA, A. B. A. de; FURUKAWA, N. M.; ESTEVÃO, D. Tecnologias de produção de soja Paraná 2004. **Embrapa Soja**, Sistema de Produção, n. 1. 2003. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54361/1/Sistemas-de-Producao-3.pdf>>. Acesso: 27 nov. 2019.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistic analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 1039-1042, 2011.

FOIS, D. A. F. **Produtividade das culturas de soja e milho e alterações dos atributos químicos do solo em função da aplicação do gesso agrícola no Paraguai**. 121p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2018.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações. Piracicaba, **Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2.ed., San Diego, Academic Press. 1995. 889p.

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

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, J. E. (Ed.). Fundamentos de química do solo. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 131-179.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S. do; MELO, W. J. de. **Análise química de tecido vegetal**. p. 190-233, 2009. Embrapa Informática Agropecuária (CNPTIA).

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A; MURAOKA, T.; CARMO, C.A.F. de S. do; MELLO, W. J. de. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia / Rio de Janeiro: Embrapa Solos / Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, p.171-223, 1999.

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

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

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NOGUEIRA, M.A.; MELO, W.J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.1, p.655-663, 2003.

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

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

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDORFEN, G, H.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.30, n.1, p. 849-857, 2006.

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

ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B. & FREDE, H.G. Efeito das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.10, n. 1, p.163-166, 1986.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C. dos; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3.ed. Brasília, DF, EMBRAPA, 2013. 353p.

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

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

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

SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; ROSA, Y.B.C.J. & ZEVIANI, W.M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina Ciência Agronômica**, v.33, n.1, p.1717-1732, 2012.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORD, J. W.; FIELD, D. J.; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; COURCELLES, V DE R.; DE SINGH, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D. A.; BALDOCK, J.; BIRD, M.; BROOKES, P. C.; CHENU, C.; JASTROW, J. D.; LAL,

R.; LEHMANN, J.; O'DONNELL, A. G.; PARTON, W. J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems e Environment**. v. 164, n. 1, p.80-99. 2013.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. Resposta da soja à aplicação de gesso agrícola. Campinas, **Instituto Agrônômico** 54, 2002. 2p.

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

VITTUM, M. T.; LATHEWELL, D. J.; GIBBS, G. H. Cumulative effects of irrigation and fertilizer on soil fertility. **Agronomic Journal**. V.60, n.1, p.563-565, 1968.

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

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

3. TERCEIRO CAPÍTULO – ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO AGRÍCOLA

RESUMO: O uso do gesso agrícola e o manejo do solo podem influenciar seus atributos físicos com o intuito de manter ou melhorar a qualidade dos solos. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de dose de gesso sobre as características físicas do solo 18 meses após sua aplicação. O experimento foi implantado em 2018, na Estação Experimental da Copagril, pertencente a Cooperativa Agroindustrial Copagril, no município de Marechal Cândido Rondon – PR, em Latossolo Vermelho Eutroférico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, os tratamentos foram constituídos por seis doses de gesso (0, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 kg ha⁻¹), com quatro repetições. As amostras indeformadas, para determinação da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade (Ds) do solo, foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Para resistência do solo à penetração (RP), os resultados foram obtidos até 40 cm de profundidade. As avaliações foram realizadas após a colheita da soja, safra 2018/2019, 18 meses após a aplicação das doses de gesso. Concluindo-se que em relação a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade as doses de 600 e 1200 kg ha⁻¹ obtiveram os maiores valores e os menores de Ds nas camadas avaliadas, havendo melhoria da qualidade física do solo. A dose de 1200 kg ha⁻¹ obteve os menores valores para a RP do solo, nas camadas avaliadas.

Palavras-chave: Característica Física. Qualidade física. Resistência à penetração.

SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AFTER APPLICATION OF AGRICULTURAL GYPSUM DOSES

ABSTRACT: The use of agricultural gypsum and soil management can influence their physical attributes in order to maintain or improve soil quality. The aim of the present study was to evaluate the effect on the physical characteristics of the soil after plaster application. The experiment was implemented in 2018, at Copagrill Experimental Station, belonging to Cooperativa Agroindustrial Copagrill, in the municipality of Marechal Cândido Rondon - PR, in LATOSSOLO RED Eutroférico. The experimental design used was a randomized block, the treatments consisted of six plaster doses (0, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 kg ha⁻¹), with four replications totaling 24 plots. The undisturbed samples, to determine the macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Pt) and density (Ds) of the soil, were collected in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers. For soil resistance to penetration (RP), the results were obtained up to 40 cm deep. The evaluations were carried out after the soybean harvest, harvest 2018/2019, 18 months after the application of the plaster doses. In conclusion, in relation to macroporosity, microporosity, total porosity and density, the doses of 600 and 1200 kg ha⁻¹ obtained the highest values of Ma, Mi and Pt, and the lowest of Ds in the evaluated layers, improving the physical quality of the soil. The 1200 kg ha⁻¹ dose obtained the lowest values for soil PR in the evaluated layers.

Key words: Physical characteristics. Physical quality. Penetration resistance.

3.1 INTRODUÇÃO

A estrutura do solo tem sido considerada um adequado indicador de qualidade do solo, pois influencia direta e indiretamente importantes processos e fenômenos de importância agronômica e ambiental que ocorrem no solo, como retenção e infiltração de água, susceptibilidade à erosão, aeração, atividade microbiana, dentre outros (STEFANOSKI et al., 2013).

O estudo de atributos do solo tem demonstrado dependência espacial frequente, dos atributos químicos e físicos do solo. Atributos como densidade e porosidade total mostram quando um solo apresenta condições adequadas ao desenvolvimento e à exploração das raízes, indicando se há problemas de compactação (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2008). Conforme Souza et al. (2005), os atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos em áreas de mesma unidade taxonômica, muitas vezes de forma significativa.

A compactação é uma das limitações encontradas pelo produtor para manter o grande potencial produtivo nos sistemas de manejo, considerada fator adverso para o desenvolvimento da planta, afetando a germinação das sementes e emergências das plantas e crescimento das raízes, mas que pode ser avaliada por meio de algumas propriedades físicas, tais como, densidade do solo e resistência do solo à penetração. A compactação do solo ocorre nas camadas superficiais, devido, principalmente, ao tráfego de máquinas, e implementos em condições de alto teor de água no solo ou por mobilizá-lo somente na linha de semeadura. A degradação acelerada dos recursos naturais é uma das consequências da utilização intensiva do solo através de manejos denominados convencionais (SEKI et al., 2010).

A aplicação de gesso agrícola possibilita melhores condições do subsolo, podendo atuar, de certa forma, como descompactante do solo (RAIJ, 2008), ambiente que geralmente é pouco favorável às raízes. A formação de complexos químicos com o alumínio torna-o menos disponível para as plantas. Por ter alta solubilidade no solo, o gesso fornece rapidamente o cálcio, que pode ser lixiviado em profundidade, melhorando a fertilidade e aumentando a exploração das raízes (OLIVEIRA, 2013).

Considerando a importância de se conhecer e entender a influência do uso do gesso agrícola, realizou-se esse trabalho com os objetivos de avaliar o efeito de

doses de gesso sobre as características físicas do solo 18 meses após sua aplicação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Informações sobre localização, clima, características do solo da área experimental, delineamento, implantação e manejo das culturas estão apresentadas no capítulo 2 (p. 17 e 18).

A caracterização física do solo (macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade), foi realizada coletando-se amostras indeformadas conforme Claessen et al., (1997), utilizando-se anéis com volume interno de 50 cm³ introduzidos verticalmente no perfil, nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade, em um ponto por parcela, em cada profundidade, após o cultivo da soja, com amostragem sendo realizada na área central da parcela. As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Unioeste.

A resistência do solo à penetração foi realizada utilizando um penetrômetro eletrônico, modelo PenetroLOG, marca Falker, em dois pontos de cada parcela, após a colheita da soja, aleatoriamente, até 40 cm de profundidade.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística pelo teste F à 5% de probabilidade e quando constatada a significância para as doses de gesso foi utilizada a análise de regressão, com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, houve efeito significativo linear para Ma, Mi, Pt e Ds em todas as camadas avaliadas, 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com exceção da Ma e Pt na camada de 5-10 cm e densidade nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, após 18 meses da aplicação das doses de gesso agrícola (Tabela 6, Figura 6). As doses de gesso promoveram pequenas alterações nos valores de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm (Figura 6 A, B, C e D).

Para a Macroporosidade do solo (Ma) verificou-se que nas camadas 0-5 e 10-20 cm, a dose de gesso de 2400 kg ha⁻¹ foi superior aos demais tratamentos

(Figura 6A). Em relação a microporosidade, na camada de 0-5 cm a dose de 600 kg ha⁻¹ de gesso promoveu maior valor de Mi (0,2600 m³ m³) em relação aos demais tratamentos, já nas camadas de 5-10 e 10-20 cm a dose de 1200 kg ha⁻¹ promoveu valor superior de Mi (0,2500 e 0,2500 m³ m³, respectivamente) (Figura 6B). De acordo com Souza et al. (2010) a importância dos microporos está relacionada à relação solo-água-plantas, pois estes poros são responsáveis pela armazenagem e retenção de água no solo.

Calandrelli et al. (2016) concluíram que o gesso contribuiu para uma maior produção de matéria seca de raiz no perfil do solo no SPD, ou seja, há aumento na exploração de maiores porções do solo pelas raízes, produzindo bioporos no solo, proporcionando para o aumento da Ma do solo.

No trabalho de Müller et al., (2012) o gesso agrícola diminuiu a macroporosidade do solo na camada 0 – 7,5 cm e aumentou a microporosidade nesta camada, devido parte dos macroporos serem transformados em microporos pela ação flocculante do gesso, uma vez que a microporosidade correspondeu aos poros intra-agregados. Segundo Othmer et al (1991) isso é devido ao incremento na agregação do solo promovido pelo gesso, devido à ação flocculante proporcionada pelo cálcio deste insumo, uma vez que os microporos são fortemente influenciados pela agregação.

Em relação à Porosidade total (Pt) do solo houve significância nas camadas de 0-5 e 10-20 cm do solo, a dose de 600 kg ha⁻¹ proporcionou Pt de 0,5225 e 0,5000 m³ m³, respectivamente (Figura 6C). Quanto à densidade (Ds) do solo a dose de 2400 kg ha⁻¹ promoveu a menor Ds na camada de 0-5 cm (Figura 6D). Souza et al. (2010), observaram alterações na Ds de um Latossolo Vermelho Distroférico argiloso em função da aplicação de 2 ton ha⁻¹ de gesso, verificando que o uso do gesso promoveu reduções na Ds quando a área experimental fora manejada sob SPD. Adicionalmente, o efeito da gessagem sobre a Ds foi mais acentuado na camada de 0 a 5 cm, independente da condição do estudo.

Tabela 6 - Quadrado médio da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas camadas do solo após 18 meses da aplicação de doses de gesso agrícola, no município de Marechal Cândido Rondon – PR

FV	GL	Macroporosidade (m ³ m ³)			Microporosidade (m ³ m ³)		
		0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Bloco	3	0,000111	0,000100	0,000060	0,000104	0,000004	0,000050
Dose	5	0,000177*	0,000077 ^{ns}	0,000054*	0,000388*	0,000058*	0,000077*
Erro	15	0,000074	0,000150	0,000036	0,000114	0,000058	0,000043
CV (%)		3,43	2,47	2,36	4,38	3,11	2,68
		Porosidade Total (m ³ m ³)			Densidade do Solo (g cm ³)		
		0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Bloco	3	0,000282	0,000028	0,000200	0,003715	0,001567	0,004638
Dose	5	0,001008*	0,000010 ^{ns}	0,000170*	0,015284*	0,00058 ^{ns}	0,00140 ^{ns}
Erro	15	0,000392	0,000034	0,000170	0,004955	0,001540	0,002261
CV (%)		3,99	2,32	2,61	7,09	3,90	4,66
Parâmetros de Regressão							
		Prof. (cm)	A	x ¹	R ²		
Macroporosidade		0-5	0,253071	-0,000000	0,06		
Macroporosidade		10-20	0,256643	-0,000000	0,15		
Microporosidade		0-5	0,246929	-0,000001	0,14		
Microporosidade		5-10	0,245071	-0,000000	0,16		
Microporosidade		10-20	0,247143	-0,000000	0,12		
Porosidade Total		0-5	0,500714	-0,000001	0,10		
Porosidade Total		10-20	0,503143	-0,000001	0,31		
Densidade		0-5	1.004000	-0.000004	0,04		

^{ns}, *, respectivamente, não significativo e significativo a 5% . F.V.: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação.

Tomando como base os valores críticos de Tormena et al. (2008), que afirmam que a Ds acima de 1,16 g cm⁻³ corresponde ao limite que compromete o sistema radicular das plantas e afeta a qualidade física do solo, a área estudada em todas as camadas independente da dose de gesso utilizada, apresentaram valores de Ds inferiores aos citados como críticos ao desenvolvimento das plantas.

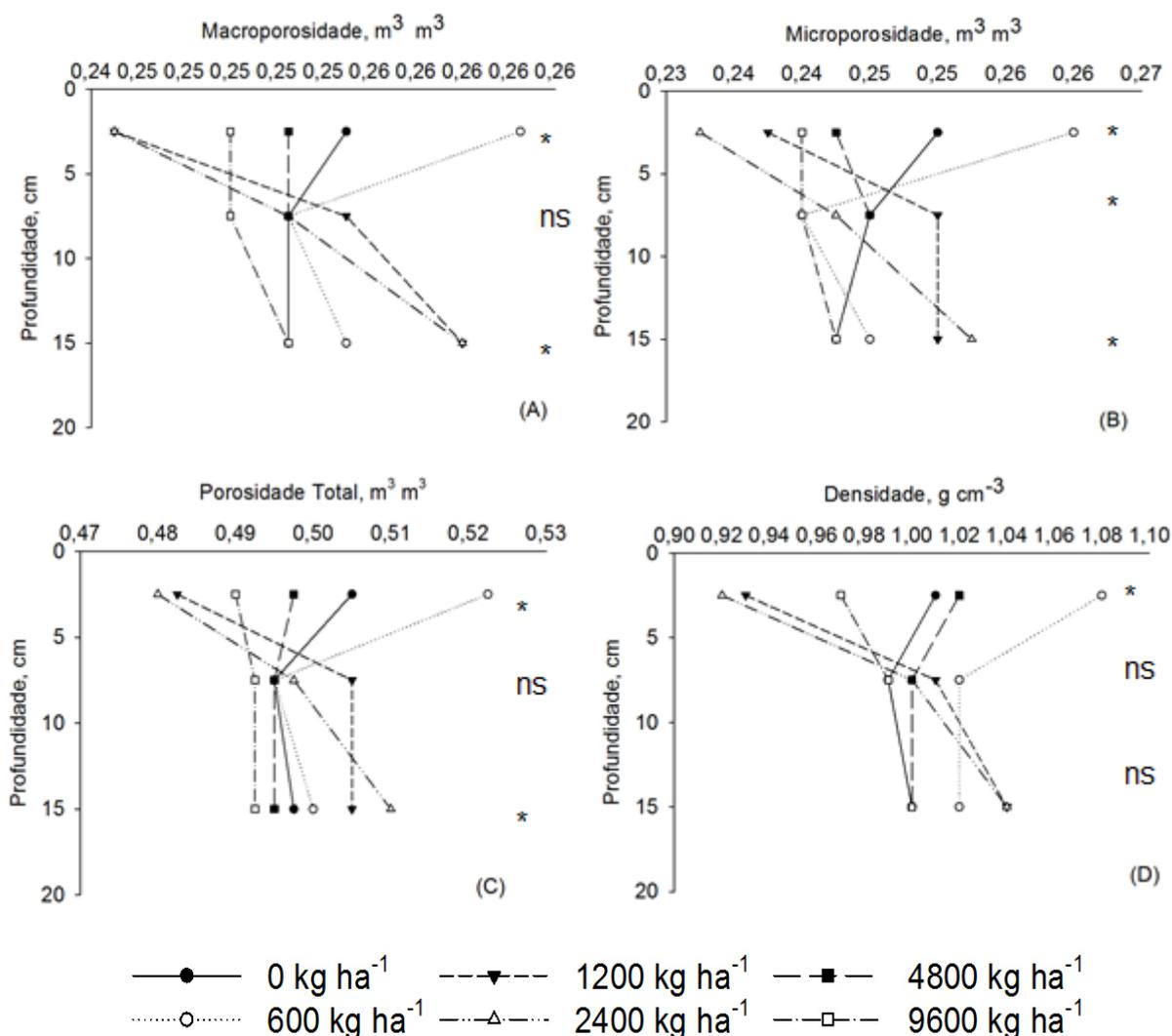


Figura 6 -Valores de macroporosidade (A), microporosidade (B), porosidade total (C) e Densidade (D) do solo 18 meses após a aplicação das doses de gesso. ns; *Não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Na Tabela 7 e Figura 7 são apresentados os resultados da análise de variância de resistência à penetração obtidos pelo penetrômetro digital (PenetroLog Falker®). Verifica-se que houve diferença significativa entre as doses utilizadas (regressão linear), exceto para as camadas de 0-5, 20-25 e 35-40 cm, corroborando com Carvalho et al. (2012).

Em estudo realizado por Müller et al. (2012), com o objetivo de estudar os efeitos de doses de gesso aplicados na superfície sobre a qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho após 50 meses de aplicação em sistema de semeadura direta, obtiveram diferença para resistência à penetração (RP) nas camadas 7,5-30 cm de profundidade, justificando esta diferença pelo aumento de agregados em

consequência do aumento de teor Ca na subsuperfície o que aumenta a força de agregação das partículas, porém estes valores não foram suficientes para restringirem o crescimento radicular.

Tabela 7 - Quadrado médio da análise de variância para o parâmetro de resistência à penetração (MPa) nas camadas do solo após 18 meses da aplicação de doses de gesso agrícola, no município de Marechal Cândido Rondon – PR

Resistência do solo à penetração					
F.V	G.L	Camadas (cm)			
		0-5	5-10	10-15	15-20
Bloco	3	2414,59	80108,72	164623,81	107425,15
Gesso	5	4073,64 ^{ns}	555733,86*	287773,24*	82483,47*
Erro	15	6274,33	141406,15	87804,08	121425,98
CV (%)		193,39	31,50	16,90	18,81

F.V	G.L	Camadas (cm)			
		20-25	25-30	30-35	35-40
Bloco	3	136623,55	63366,38	42831,27	13740,93
Gesso	5	82726,56 ^{ns}	114043,46*	60781,16*	29851,14 ^{ns}
Erro	15	98056,78	60475,15	37956,01	36238,63
CV (%)		15,78	12,35	11,53	12,42

Parâmetros de Regressão					
Prof. (cm)	a	x ¹	x ²	x ³	R ²
5-10	890.27	0.304492	-0.000031		0,62
10-15	1544.89	0.218721	-0.000023		0,64
15-20	1759.27	0.110792	-0.000012		0,68
25-30	1850.88	0.304905	-0.000092	0.00	0,43
30-35	1759.01	-0.053496	0.000005		0,18

^{ns,*}: Respectivamente, não significativo e significativo a 5% de probabilidade. F.V.: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação.

A maioria dos valores obtidos para RP para a camada de 15 - 25 cm está acima de 2,0 MPa, valor este citado pelo United States Department of Agriculture (1993) como limitador e causador de grandes restrições ao desenvolvimento radicular para várias culturas anuais. Entretanto, para Caranache (1990), apenas valores de RP acima de 2,5 MPa reduzem o crescimento de plantas. Beutler e

Centurion (2004) afirmam que para a cultura da soja os valores entre 2,0 a 3,0 MPa limitam o seu desenvolvimento.

A resistência à penetração do solo também é fortemente influenciada pelo teor de água contido nele, quanto maior sua umidade no momento dos tratos culturais a tendência é de que maior será o aumento de sua densidade, Schiavo e Colodro (2012), afirmam que além da umidade do solo, a RP pode ser dependente/influenciada pelo tipo, pela distribuição e tamanho dos poros do solo. Geralmente, solos argilosos são mais suscetíveis a compactação do que os com maiores teores de areia. A umidade do solo também influencia os valores de RP do solo, contudo durante a realização das avaliações a umidade do solo se encontrava em torno de 30% em todas as camadas.

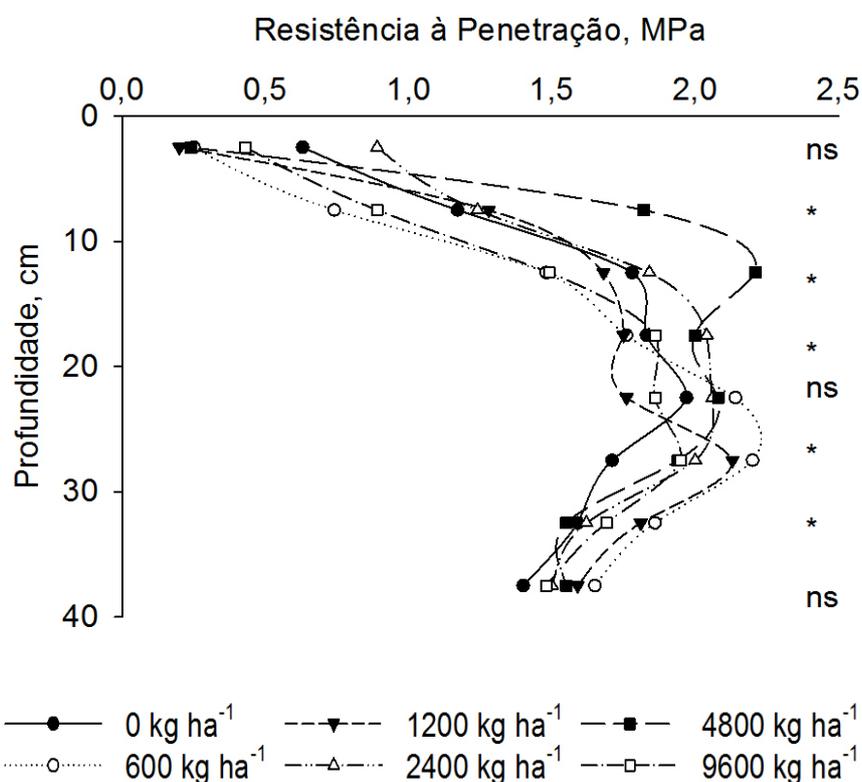


Figura 7 - Resistência do solo à penetração (MPa) nas camadas de 0-40 cm de profundidade, após 18 meses da aplicação das doses de gesso. .ns; *Não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

3.4 CONCLUSÕES

Em relação a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo as doses de 600 e 2400 kg ha⁻¹ obtiveram os maiores valores de

Ma, Mi e Pt, e os menores de Ds nas camadas avaliadas, havendo melhoria da qualidade física do solo.

A dose de 1200 kg ha⁻¹ obteve os menores valores para a RP do solo, nas camadas avaliadas.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004.

CALANDRELLI, A.; ALMEIDA, M.R. ; MARONEZZI, L.F.F. ; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; SANTOS, E.L. Distribuição de raízes de soja em semeadura com haste no SPD em função da escarificação e gessagem. XI Jornada Acadêmica da Embrapa Soja | Resumos expandidos. Anais. 2016.

CARANACHE, A. Penetrometer – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil Tillage Research*, **Amsterdam**, v. 16, n. 1-2, p. 51-70, 1990.

CARVALHO, J. J.; MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; RODRIGUES, E. C. P. Avaliação da resistência do solo sob dois sistemas de manejo: plantio direto e convencional. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça-SP, v. 22, n. 2, p. 1-11, 2012.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. de O.; PAULA, J. L. de; Duarte, M. N. **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.

MÜLLER, M. M. L.; TORMENA, C. A.; GENÚ, A. M.; KRAMER, L. F. M.; MICHALOVIEZ, L.; CAIRES, E. F. Structural Quality of a No-Tillage Red Latosol 50 Months After Gypsum Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 36, n. 3, p. 1005-1013, 2012.

OLIVEIRA, F.S. **Perspectivas do uso de gesso agrícola em cafezais no planalto de vitória da conquista-Bahia**. 2013. 48 f Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitoria da Conquista, 2013.

OTHMER, H., B. Diekkrüger & M. Kutilek. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, v. 152, n.1, p. 139-150, 1991.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233 p.

RAMIREZ-LOPEZ, L.; REINA-SANCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J. H. Variabilidade espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colômbia. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 28, n.1, p. 55-63, 2008.

SCHIAVO, J. A.; COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p. 406-412, 2012.

SEKI, A. S. **Demanda energética e produtividade da soja e do milho em áreas de plantio direto e cultivo mínimo**. 2010. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/7075/4123>>. Acesso: 02 jan. 2020.

SOUZA, F. R.; ROSA JUNIOR, E. J.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSO, L. R.; ROSA, Y, B. C. J. Atributos físicos e desempenho agrônomo da cultura da soja em um Latossolo Vermelho Distroférico submetido a dois

sistemas de manejos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1357-1364, 2010.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOSI, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, 2013

TORMENA, C. A.; IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; DEXTER, A. R. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the index. **Scientia Agricola Journal**, v. 65, n.1, p.56-60, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **1º levantamento USDA da safra 2017/18**. 2017. Disponível em:< http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisasepublicacoes/saframundialdesoja/attachment/boletim_soja_maio2017/> Acesso em: 25 jan. 2020.

4. QUARTO CAPÍTULO – RESPOSTAS DO TRIGO E SOJA APÓS A APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO AGRÍCOLA

RESUMO: A aplicação de gesso agrícola confere melhores condições de subsuperfície do solo, atuando como condicionador do solo, proporcionando benefícios ao desenvolvimento radicular das culturas. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de doses de gesso agrícola sobre os parâmetros produtivos das culturas do trigo e da soja em sistema de plantio direto. O experimento foi implantado em 2018, na Estação Experimental da Copagril, pertencente a Cooperativa Agroindustrial Copagril, no município de Marechal Cândido Rondon – PR, em Latossolo Vermelho Eutroférico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, os tratamentos foram constituídos por seis doses de gesso (0, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 kg ha⁻¹), com quatro repetições. Em maio de 2018 foi semeada a cultura do trigo e avaliadas as características agronômicas (número de perfilhos, altura, comprimento de espiga, número de espiguetas e de grãos por espiga, massa de 1000 grãos e produtividade) e em setembro, foi implantada a cultura da soja, e avaliada as características agronômicas (estande de plantas, altura, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, diâmetro do caule, massa de 1000 grãos e produtividade). O uso de gesso não alterou os componentes de produção e o rendimento das culturas de trigo e soja.

Palavras-chave: Características agronômicas. Gessagem. Produtividade.

WHEAT YIELD AND SOY AFTER APPLICATION OF AGRICULTURAL PLASTER DOSES

ABSTRACT: The application of agricultural plaster provides better soil subsurface conditions, acting as a soil conditioner, providing benefits to the root development of crops. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the effect of doses of agricultural plaster on the productive parameters of wheat and soybean crops under no-tillage system. The experiment was implemented in 2018, at Copagril Experimental Station, belonging to Copagril Agroindustrial Cooperative, in Marechal Cândido Rondon - PR, in Eutroferric RED Latosol. The experimental design used was randomized blocks, and the treatments consisted of six doses of plaster (0, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 kg ha⁻¹), with four replications totaling 24 plots. In May 2018 the wheat crop was sown and the agronomic characteristics (number of tillers, height, ear length, number of spikelets and grains per ear, 1000 grain mass and yield) were evaluated and in September the crop was implanted. soybean, and evaluated the agronomic characteristics (plant stand, height, number of pods per plant, number of grains per pod, stem diameter, 1000 grain mass and yield). The use of plaster did not change the yield components and yield of wheat and soybean crops

Key words: Agronomic characteristics. Plaster. Productivity.

4.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores de grãos no mundo, diante disso o trigo pode ser cultivado desde a Região Sul até a região dos cerrados, no Brasil Central. O país possui uma área próxima a 61 milhões de hectares cultivada com grãos, destes 2,04 milhões de hectares são cultivados trigo, e sua produção na safra de 2018/2019 atingiu 5,43 milhões de toneladas, se destacando com grande importância no agronegócio nacional (CONAB, 2019).

Já a soja é a *commoditie* brasileira que mais teve crescimento em cultivo nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país, sendo a principal cultura agrícola. O Brasil é o segundo maior produtor mundial, atrás apenas dos Estados Unidos da América. Na safra 2018/2019, a cultura ocupou uma área de 35,90 milhões de ha, o que totalizou uma produção de 115 milhões de toneladas, com produtividade média de 3.203 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

A aplicação de gesso agrícola diminui, em menor tempo, a saturação do alumínio nas camadas mais profundas. Desse modo, criam-se condições para o sistema radicular das plantas se aprofundarem no solo e, conseqüentemente, minimizar o efeito de veranicos. Deve ficar claro, porém, que o gesso não neutraliza a acidez do solo (FARIAS et al., 2003).

Assim, a gessagem pode ser utilizada em solos ácidos para melhorar as características químicas. Atua sobre fatores que desfavorecem o desenvolvimento radicular das plantas, o excesso de Al (OLIVEIRA et al., 2009), ser fonte de S e Ca (CAIRES et al., 2004), conseqüentemente, melhora o desenvolvimento radicular e a utilização da água e dos nutrientes presentes no solo, minimizando assim os efeitos de veranicos.

O S possui função estrutural no metabolismo das plantas, atuando na formação de várias proteínas vegetais e enzimas, na formação da clorofila e promoção da nodulação do sistema radicular. Em plantio direto, há trabalhos mostrando desde ausência de resposta do trigo à aplicação de gesso (CAIRES et al., 1999), até aumento quadrático na produção de grãos (CAIRES et al., 2002), com a máxima produção obtida com dose de 8,2 ton ha⁻¹.

Aumento na produção de biomassa e na produção de grãos de soja foi obtido por Boem et al. (2007) com aplicação de 15 kg ha⁻¹ de S via gesso em quatro solos dos pampas argentinos, entretanto diversos trabalhos realizados em SPD

(CAIRES et al., 1998; 2003; 2006) têm mostrado ausência de resposta da soja à aplicação do gesso, e até pequenos decréscimos na produção de grãos da cultura com o emprego de altas doses de gesso causados pela lixiviação de Mg^{2+} trocável no solo (CAIRES et al., 1998).

Com isso, a resposta das culturas à aplicação de gesso agrícola em áreas com SPD necessita ser mais estudada visando estabelecer as melhores alternativas para a melhoria e a manutenção dos atributos químicos e físicos do solo. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito de doses de gesso agrícola, sobre o desenvolvimento das culturas do trigo e da soja após a aplicação do gesso agrícola em sistema de plantio direto.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Informações sobre localização, clima, características do solo da área experimental, delineamento, implantação e manejo das culturas estão apresentadas no capítulo 2 (p. 17 e 18).

Por ocasião da colheita da cultura do trigo, no dia 05 de setembro de 2018, foram determinados:

Altura de planta: a altura média das plantas foi determinada a campo pela medição, com régua graduada em centímetros, da distância entre o solo até a inserção da folha bandeira em dez plantas por parcela.

Perfilhamento total: para esta avaliação também realizada a campo, foram contados os perfilhos em três linhas centrais de um metro em cada parcela.

Comprimento de espiga: foi determinada pela medição, com régua graduada em centímetros o comprimento de dez espigas, após coletadas a campo.

Número de espiguetas: foi contado o número de espiguetas presentes por espiga, espigas dez plantas por parcela.

Número de grãos/espiga: foi contado o número de grãos em cada espiguetas presentes por espiga, em dez plantas.

Massa de 1000 grãos: foram contadas oito repetições de 100 grãos (BRASIL, 2009), cujas massas foram pesadas e ajustadas para 13% de teor de água, possibilitando estimar a massa de 1000 grãos.

Produtividade de grãos: para esta avaliação foram coletadas as plantas em cinco metros das oito linhas centrais de cada parcela manualmente e submetidas à

trilha mecânica e, após a debulha, foram pesados os grãos. A massa de grãos foi corrigida para o grau de umidade de 13% à base úmida e transformada para kg ha^{-1} .

Na cultura da soja, mais precisamente ao final do ciclo da cultura, em estágio fenológico R8, foi determinado a campo no dia 01 de fevereiro de 2019:

Estande: para a avaliação foram contadas as plantas em três linhas centrais de um metro em cada parcela e extrapolados os valores para plantas ha^{-1} .

Altura de planta: a altura média das plantas foi determinada pela medição, com régua graduada em centímetros, da distância entre o solo até a extremidade apical em dez plantas por parcela.

Número de grãos/vagem: foi contado o número de grãos em cada vagem presentes por planta, em dez plantas escolhidas aleatoriamente em cada parcela.

Número de vagens/planta: foi contado o número de vagens presentes por planta, em dez plantas por parcela escolhidas aleatoriamente em cada parcela.

Número de grãos/planta: para obtenção desta avaliação foi multiplicado os valores obtidos de número de vagens/planta pelo número de grãos/vagem.

Diâmetro do caule: com auxílio de um paquímetro, aferiu-se o diâmetro do caule na porção do terço inferior de 10 plantas escolhidas aleatoriamente dentro de cada parcela.

Massa de 1000 grãos: foram contadas oito repetições de 100 grãos (BRASIL, 2009), cujas massas foram pesadas e ajustadas para 13% de teor de água, possibilitando estimar a massa de 1000 grãos.

Produtividade de grãos: para esta avaliação foram coletadas as plantas em seis metros das cinco linhas centrais de cada parcela manualmente e submetidas à trilha mecânica e, após a debulha, foram pesados os grãos. A massa de grãos foi corrigida para o grau de umidade de 13% à base úmida e transformada para kg ha^{-1} .

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística pelo teste F à 5% de probabilidade e quando constatada a significância para as doses de gesso foi utilizada a análise de regressão, com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos pela análise de variância, não se obteve diferenças significativas para os parâmetros produtivos da cultura do trigo cultivar CD 150 e nem para a cultura da soja cultivar 96Y90 (Tabela 8).

A dose de gesso de 4800 kg ha⁻¹ produziu 18,89% a mais, quando comparado com a dose de 2400 kg ha⁻¹, 6,42% a mais em relação a testemunha, porem não resultando em significância estatisticamente. De acordo com a Conab (2019) no Oeste do PR a média de produtividade da cultura foi de 2.201,00 Kg ha⁻¹, mostrando que a utilização do gesso foi benéfica ao aumento de produtividade da cultura, contudo sem efeito estatístico (Tabela 9).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para os parâmetros avaliados: altura (ALT), perfilhamento total (PER), comprimento de espiga (COM), número de espiguetas (NE), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD) da cultura do trigo e estande (EST), altura (ALT), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NGP), número de grãos por planta (NGP), diâmetro do caule (DC), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD) da cultura da soja, no município de Marechal Cândido Rondon – PR, no ano agrícola 2018/2019

Quadrados Médios (Trigo)								
F.V.	ALT (cm)	PER (m linear)	COM (cm)	NE	NGE	MMG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	
Bloco	8,044	35,646	0,432	5,965	3,858	291,328	3077613,995	
Doses	2,043 ^{n.s}	22,287 ^{n.s}	0,329 ^{n.s}	4,652 ^{n.s}	5,211 ^{n.s}	118,790 ^{n.s}	398412,222 ^{n.s}	
Erro	3,252	35,295	0,136	13,290	12,096	93,660	1097542,855	
CV (%)	3,92	12,43	4,44	8,53	8,79	22,96	29,71	
Quadrados Médios (Soja)								
F.V.	EST (ha)	ALT (cm)	NGV	NVP	NGP	DC (mm)	MMG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
Bloco	1,197	7,733	0,011	102,227	791,530	0,139	31,845	781451,394
Doses	0,974 ^{n.s}	9,673 ^{n.s}	0,007 ^{n.s}	22,934 ^{n.s}	124,831 ^{n.s}	0,045 ^{n.s}	66,057 ^{n.s}	230738,564 ^{n.s}
Erro	2,156	6,327	0,029	55,140	364,532	0,130	55,383	564224,773
CV (%)	9,83	3,21	7,02	16,58	17,58	5,82	7,16	22,49

^{ns}, não significativo pelo teste F a 5%. F.V.: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação.

Conforme o estudado no capítulo anterior houve maior absorção de cálcio com o aumento das doses de gesso, o que favoreceu os incrementos de produtividade na cultura do trigo, mesmo que não significativamente, sendo a dose de 4800 kg ha⁻¹ a qual alcançou a produtividade de 3.930,38 kg ha⁻¹ onde os teores de cálcio conforme mostrado no capítulo anterior estavam acima das demais doses.

Tabela 9 - Altura (ALT), perfilhamento (PER), comprimento de espiga (COM), número de espiguetas (NE), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MMG) e Produtividade (PROD) da cultura do trigo, na safra 2018, no município de Marechal Cândido Rondon - PR

Doses de gesso (kg ha ⁻¹)	ALT (cm)	PER (m linear)	COM (cm)	NE	NGE	MMG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
0	45,30	91,09	8,03	42,37	38,55	48,87	3.678,16
600	46,95	103,58	8,12	42,02	38,85	36,94	3.275,16
1200	45,57	98,25	8,45	44,22	40,57	35,20	3.283,12
2400	45,42	91,75	8,67	43,10	40,27	41,29	3.188,16
4800	46,25	93,25	8,05	41,25	38,20	47,20	3.930,38
9600	46,77	95,83	8,60	43,52	40,82	43,43	3.800,39
Média geral	46,04	95,62	8,32	42,75	39,54	42,15	3.525,89

Valores seguidos na coluna não diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de probabilidade.

A dose de gesso de 2400 kg ha⁻¹ produziu 17,44% a mais em relação à dose de 4800 kg ha⁻¹, 6,66% a mais em relação a testemunha, contudo sem diferenças significativas entre os tratamentos. No PR na safra 18/19 de acordo com a Conab (2019) a produtividade média da cultura da soja foi de 3.470,57 kg ha⁻¹, sendo equivalente ao estudo realizado (Tabela 10).

Tabela 10 - Estande (EST), altura (ALT), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), diâmetro do caule (DC), massa de mil grãos (MMG) e Produtividade (PROD) da cultura da soja, na safra 2018/2019, no município de Marechal Cândido Rondon - PR

Doses de gesso (kg ha ⁻¹)	EST (plantas ha ⁻¹)	ALT (cm)	NGV	NVP	NGP	DC (mm)	MMG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
0	290000	77,10	2,42	41,82	101,66	6,03	107,56	3.418,47
600	283200	78,97	2,42	48,25	117,27	6,23	105,33	3.536,52
1200	306600	78,57	2,37	44,12	105,09	6,23	103,44	3.208,63
2400	306600	77,65	2,50	42,72	106,31	6,11	107,42	3.662,45
4800	305000	76,87	2,42	46,52	112,49	6,22	103,09	3.023,77
9600	301600	81,07	2,40	45,22	108,88	6,34	96,56	3.190,29
Média	298800	78,37	2,42	44,77	108,61	6,19	103,90	3.340,02

Valores seguidos na coluna não diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação.

A produtividade das duas maiores doses de gesso agrícola na cultura da soja (Tabela 10), mostra a clara competição entre Ca e Mg, em que a análise foliar mostra a redução na absorção do Mg acima da dose de 2400 kg ha⁻¹.

Como a utilização do gesso agrícola está muito relacionada à presença de Al trocável no solo, uma explicação para a não significância de aumento de produtividade no estudo em questão, de acordo com a análise química do solo (Tabela 1), realizada anteriormente a implantação do experimento, mostra que é importante ressaltar que o solo avaliado possuía boa fertilidade, não necessitando de gesso para neutralização do alumínio em subsuperfície (20-40 cm). Portanto diante disso o gesso possivelmente não expressou o seu potencial de efetividade, pelo fato do solo não apresentar limitações químicas.

A precipitação pluviométrica também é um fator importante relacionada a eficiência do gesso agrícola, um dos benefícios do gesso esta em amenizar efeito de veranicos, contudo segundo a Figura 1 (p. 18), durante a condução do experimento não houve déficit hídrico para o desenvolvimento das culturas, porem houve redução do índice pluviométrico durante o desenvolvimento da cultura do trigo, no período de junho a julho de 2018. A não deficiência hídrica certamente é um fator que pode culminar com a não efetividade da gessagem.

As gramíneas como trigo, são mais responsivas comparadas com leguminosas (RAMPIIM et al., 2011), com aumento no rendimento em função da gessagem, contudo somente em solo de média fertilidade natural com Al^{3+} presente (em alta concentração), corroborando com o presente estudo de que em solo sem a presença de Al o gesso agrícola não ocasionou aumento de produtividade na cultura do trigo, contudo o uso de gesso não influenciou na produtividade da cultura da soja tanto em solo com presença de Al^{3+} quanto em solo com ausência de Al^{3+} .

Em estudos realizados por Fogaça et al. (2019) em condições de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, verificaram que o uso do gesso sem a aplicação de calcário não foi eficiente no crescimento e acúmulo de massa de grãos em plantas de trigo. Já Coppo et al. (2019), em um Latossolo Vermelho Distroférico, obtiveram apenas respostas positivas à aplicação de gesso na cultura do trigo, quando em safra com baixo índice pluviométrico.

Schmidt Filho et al. (2016), em estudo realizado na condição de solo de textura muito argilosa, não observaram influências significativas na utilização de doses de gesso agrícola na cultura do trigo, podendo destacar que o gesso não apresenta uma ação direta a curto prazo, como foi constatado no desenvolvimento do trabalho.

As variáveis agronômicas nas duas culturas não foram influenciadas pelas doses de gesso. Portanto, mesmo doses elevadas, até três vezes a recomendação, não promoveram alterações nas características agronômicas da cultura da soja e do trigo (SBCS/NEPAR, 2017).

A massa de 1000 grãos, em ambas as culturas, não sofreu diferenças significativas ($p > 0,05$) com a aplicação das doses de gesso (Tabelas 9 e 10). Fato também constatado por Castañon et al. (2011), em um Latossolo Vermelho distrófico que não obtiveram respostas significativas na massa de 1000 grãos de soja ao avaliar a utilização de doses de gesso (0 a 2000 kg ha⁻¹).

Diversos autores em vários estudos constataram que para a cultura da soja, a aplicação de gesso não resultou em aumento da produtividade de grãos (CAIRES et al., 1999; 2003; 2006; NOGUEIRA; MELO, 2003).

De acordo com Nogueira e Melo (2003), a ausência de resposta da soja à aplicação de gesso está relacionada à quantidade de S proveniente da mineralização da matéria orgânica suficiente para suprir as necessidades da cultura. Já segundo Fois et al. (2017), o teor de S disponível no solo aumentou com as

doses de gesso agrícola até 40 cm de profundidade, mas isso não aumentou a produtividade da cultura da soja em duas safras avaliadas, mesmo quando os teores de S estiveram abaixo dos níveis críticos estabelecidos para a cultura.

Existem autores que indicam efeito benéfico do gesso nos teores foliares, como aumento nas concentrações de S (GELAIN et al., 2011). Moda et al. (2013) observaram efeito positivo no estado nutricional da soja aumentando teores de K, Ca e S na planta e no teor de óleo no grão, contudo sem influenciar na produtividade de grãos.

Ressalta-se que neste trabalho foram avaliadas as alterações ocorridas nos atributos de produtividade das culturas estabelecidas no primeiro ano após a aplicação do gesso agrícola em solo manejado com plantio direto contínuo.

4.4 CONCLUSÕES

Os componentes de produção e a produtividade de grãos de trigo e soja não são influenciados por doses de gessos agrícola, em solos sem limitações químicas (teores altos de Ca e baixos teores de Al na camada subsuperficial, 20-40 cm).

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOEM, F. H. G.; PRYSTUPA, P.; FERRARIS, G. Seed number and yield determination in sulfúrico deficiente soybean crops. **Journal of Plant Nutrition**, v.30, n.1, p.93-104, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

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

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.

CAIRES E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G. & GARBUIO, F.J. Lime na gypsum application on the wheat crop. **Scitia Agricola**, v.59, n.1, p.357-364, 2002.

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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.; KUSMAN, M. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação no sistema de plantio direto. **Ciência do solo**, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

CASTAÑON, T.H.F.M.; SANTOS, M.; PIMENTEL, F.L.; MORAIS, C.A.O.; MENDES, S.O. Uso do gesso agrícola na cultura da soja, na região sul do estado de Mato Grosso, **Ciência & Tecnologia**, v. 3 n. 1, p. 01-04, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V.6 - Safra 2018/19 - Décimo segundo levantamento. Brasília. p. 1 - 126. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso: 28 nov. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V. 5 - SAFRA 2017/18 - N. 6 - Sexto levantamento. 2018. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_03_13_14_15_33_grao_m arco_2018.pdf>. Acesso: 28 nov. 2019.

COPPO, J. C.; CONEGLIAN, C. F.; MINATO, E. A.; NETO, A. F. DE G.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Produtividade de trigo e acidez de um Latossolo Vermelho Distroférico sob efeito da calagem e gessagem. In: XII reunião paranaense de ciência do solo, 2019, Ponta Grossa. Anais.Ponta Grossa: RPCS, 4p.

FARIAS, J. R. B.; CAMPO, C. B. H.; ALMEIDA, A. M. R.; CARNEIRO, G. E. de S.; CORSO, I. C.; NETO, J. de B. F.; FERREIRA, L.P.; BASSOI, M. C.; NEUMAIER, N.; LEITE, R. M. V. B. de C.; SARAIVA, O. F.; LIMA, A. B. A. de; FURUKAWA, N. M.; ESTEVÃO, D. Tecnologias de produção de soja Paraná 2004. **Embrapa Soja**, Sistema de Produção, n. 1. 2003. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54361/1/Sistemas-de-Producao-3.pdf>>. Acesso: 27 nov. 2019.

FOGAÇA, S. Z.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, G. B. DE.; NETO, L. V. DA M.; SILVA, T. G. DA. Cultivo de trigo submetido à doses de gesso em Latossolo Vermelho Distrófico típico. In: XII reunião paranaense de ciência do solo, 2019, Ponta Grossa. Anais.Ponta Grossa: RPCS, 4p.

FOIS, D. A. F.; LANA, M. do C.; VERA, L. R. Q.; ALVAREZ, J. W. R.; ROJAS, C. A. L.; TIECHER, T. Efeito do gesso agrícola na disponibilidade de enxofre e no rendimento da soja e milho safrinha. **Revista Cultivando o Saber**, v. 10, n. 3, p. 314-326, 2017.

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

MODA, L. R.; BORGES, B. M.; FLORES, R. A.; DOS SANTOS, C. L.; PRADO, R. M.; SOUSA, J. I. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e

sem adubação potássica. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, RR, v. 2, n. 7, p. 129-135, 2013.

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

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A.; FAQUIN, V.; MACIEL, G. A.; NEVES, B. P.; MACHADO, E. L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 529-598, 2009.

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

SCHIMIDT FILHO, E.; GASPAROTTO, F.; TANIMOTO, S.; RAMARI, T. DE O. I.; ZANETTI, M. A. Influência de diferentes doses de gesso agrícola sobre a produtividade da cultura do trigo (*Triticum sativum* L.). **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 14, n. 2, p. 442-449, 2016.

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