

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RODRIGO AUGUSTO SCHULTZ

**CALCÁRIO E GESSO SUPERFICIAL NAS PROPRIEDADES  
FÍSICAS DE UM LATOSSOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA E  
MILHO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RODRIGO AUGUSTO SCHULTZ

**CALCÁRIO E GESSO SUPERFICIAL NAS PROPRIEDADES  
FÍSICAS DE UM LATOSSOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA E  
MILHO**

Orientador(a): Prof (a). Dr(a). Rita de Cassia Félix Alvarez

Projeto de pesquisa apresentado à  
Universidade Federal de Mato  
Grosso do Sul, como requisito para  
obtenção do título de Mestre em  
Agronomia, área de concentração:  
Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**DISCENTE:** Rodrigo Augusto Schultz

**ORIENTADOR:** Dra. Rita de Cassia Felix Alvarez

**TÍTULO:** Calcário e gesso superficial nas propriedades físicas de um Latossolo e produtividade de soja e milho

#### **AVALIADORES:**

Profa. Dra. Presidente Rita de Cassia Felix Alvarez

Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Chapadão do Sul, 01 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Rita de Cassia Felix Alvarez, Professor do Magisterio Superior**, em 01/12/2020, às 14:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 01/12/2020, às 14:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alan Mario Zuffo, Professor do Magisterio Superior - Visitante**, em 01/12/2020, às 14:35, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

## **DEDICATÓRIA**

A Deus por estar sempre me abençoando e guiando meu caminho. A minha família, pelo carinho e apoio, aos meus amigos que sempre estão presentes em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Nelson Henrique Schultz e Elir Maria Santi Schultz e aos meus irmãos Ricardo Gustavo Schultz e Eduardo Henrique Schultz por todo apoio em meus estudos e esforço para que pudesse concluí-los.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Chapadão do Sul, MS e ao Programa de Pós-graduação em agronomia pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A professora Rita de Cássia Félix Alvarez pela convivência e por toda orientação, confiança, paciência, oportunidades, incentivos e conselhos que me foram dados durante a pós-graduação.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em agronomia, pelo conhecimento transmitido.

Aos colegas de pós-graduação pelo incentivo e apoio durante o curso. A todos os amigos e pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meus agradecimentos.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) mensal durante o período de agosto de 2017 a fevereiro de 2018. Fonte: INMET. .... 3
- Figura 2. Análise de variáveis canônicas da densidade do solo (DS1, DS2, DS3 e DS4), porosidade total (PT1, PT2, PT3 e PT4), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em soja cultivada com e sem aplicação de calcário e gesso. .... 6
- Figura 3. Rede de correlações de Pearson da densidade do solo (DS1, DS2, DS3 e DS4), porosidade total (PT1, PT2, PT3 e PT4), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em soja cultivada com e sem aplicação de calcário e gesso. .... 7
- Figura 4. Análise de variáveis canônicas da densidade do solo (DS1, DS2, DS3 e DS4), porosidade total (PT1, PT2, PT3 e PT4), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em milho cultivado com e sem aplicação de calcário e gesso. .... 9
- Figura 5. Rede de correlações de Pearson da densidade do solo (DS1, DS2, DS3 e DS4), porosidade total (PT1, PT2, PT3 e PT4), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em milho cultivado com e sem aplicação de calcário e gesso. .... 11

## **LISTA DE TABELA**

Tabela 1. Análise química do solo anterior à instalação do experimento. ....	3
--	---

# CALCÁRIO E GESSO SUPERFICIAL NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO

**RESUMO:** A calagem é uma prática agrícola indispensável para a correção da acidez em solos tropicais contribuindo para o aumento da produção de grãos e biomassa. A aplicação superficial de calcário e gesso em sistema de semeadura direta (SSD) tem sido uma estratégia usada para melhorar as propriedades físicas do solo visando incremento na produtividade. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência de calcário na presença e ausência de gesso agrícola nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho e na produtividade de grãos de soja e milho, na implantação do sistema de semeadura direta. O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Chapadão do Sul, em um Latossolo Vermelho. Para verificar a inter-relação entre os tratamentos e as variáveis avaliadas foi realizada a análise de variáveis canônicas, seguindo os tratamentos: T1 = 0 kg ha<sup>-1</sup> de calcário + 0 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, T2 = 800 kg ha<sup>-1</sup> calcário + 0 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, T3 = 0 kg ha<sup>-1</sup> de calcário + 2600 kg ha<sup>-1</sup> de gesso e T4 = 800 kg ha<sup>-1</sup> calcário + 2600 kg ha<sup>-1</sup> gesso. O uso do calcário resulta em menores valores de densidade do solo e porosidade nas camadas superficiais do solo, e a maiores valores de massa seca de grãos de soja e milho. Quando associado ao gesso, observa - se maiores valores de porosidade total em camadas mais profundas do solo e maior produtividade de grãos de soja e milho. A aplicação de gesso isolada proporciona maiores valores de densidade e porosidade em camadas mais profundas do solo cultivado com milho.

**Palavras-chave:** Densidade. Porosidade. Produtividade de grãos.

**ABSTRACT:** Liming is an indispensable agricultural practice for the correction of acidity in tropical soils contributing to the increase in the production of grains and biomass. The superficial application of lime and gypsum in a direct seeding system (SSD) has been a strategy used to improve the physical properties of the soil with a view to increasing productivity. This research aimed to evaluate the influence of limestone in the presence and absence of gypsum on the physical properties of an Red Latosol and on the productivity of soybeans and corn, in the implementation of the no-



till system. The experiment was carried out in the experimental area of the Federal University of Mato Grosso do Sul, in Chapadão do Sul, in a Red Latosol. The experiment was conducted in the experimental area of the Federal University of Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, State of Mato Grosso do Sul. To verify the interrelationship between the treatments and the evaluated variables, the analysis of canonical variables was performed, following treatments: T1 = 0 kg ha<sup>-1</sup> of limestone + kg ha<sup>-1</sup> of gypsum, T2 = 800 kg ha<sup>-1</sup> of limestone + 0 kg ha<sup>-1</sup> of gypsum, T3 = 0 kg ha<sup>-1</sup> of limestone + 2600 kg ha<sup>-1</sup> of gypsum and T4 = 800 kg ha<sup>-1</sup> limestone + 2600 kg ha<sup>-1</sup> gypsum. The use of limestone resulted in lower values of soil density and porosity in the superficial layers of the soil, and higher values of dry mass of soybeans and corn. When associated with gypsum, higher values of total porosity were observed in deeper layers of the soil and higher productivity of soybeans and corn. The application of isolated gypsum provided higher values of density and porosity in deeper layers of soil cultivated with corn.

Key-words: Density. Porosity. Grain productivity.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	2
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	5
4 CONCLUSÃO .....	12
5 REFERÊNCIAS .....	12



## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (SPD) é uma técnica eficaz, que além de melhorar a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais, contribui para redução de perdas de solo e de nutrientes por erosão (Rodrighero et al. 2015). No entanto, no estabelecimento do SPD, a correção da acidez do solo deve ser feita por meio de incorporação de calcário na camada arável (Bortoluzzi et al. 2014).

Depois do sistema já estabelecido, a correção da acidez do solo é realizada por meio da aplicação de calcário na superfície, sem incorporação Ernani et al. (2000). Um dos fatores mais limitantes à produção agrícola na região dos Cerrados é a alta probabilidade da ocorrência de veranicos durante a estação das chuvas, associada à baixa capacidade de retenção de umidade e ao limitado crescimento do sistema radicular de várias culturas impostas pela deficiência de cálcio, toxidez causada pelo alumínio no subsolo e compactação (Lopes 1994). Assim, a aplicação e incorporação de calcário visando à correção da acidez na camada arável e a aplicação superficial de gesso agrícola com o objetivo de construir a fertilidade em profundidade nos solos do Cerrado, podem aumentar o volume de solo explorado pelas raízes e conseqüentemente, proporcionar maior absorção de água e nutrientes pelas plantas, maior produção de fitomassa e maior tolerância das plantas a seca.

Os sistemas de manejo conservacionistas têm o intuito de evitar o desgaste ou a degradação do solo e vêm sendo difundidos na agricultura com a utilização de técnicas como calagem e gessagem. A calagem é a técnica de correção do solo mais utilizada na agricultura, porém a gessagem é importante em circunstâncias específicas, como neutralizar alumínio em profundidade, lixiviar e liberar nutrientes nas camadas subsuperficiais do solo (Raij 2011).

A melhoria das condições do solo abaixo das camadas superficiais pode ser um fator de aumento e/ou estabilidade de produtividade das culturas, especialmente quando há ocorrência de veranicos, comuns nas regiões com inverno seco, notadamente no Cerrado, que apresentam deficiência de Ca na sub superfície do solo, associada ou não à toxidez de  $Al^{+3}$  (Costa 2009). Neste sentido, estudos são necessários para compreender os efeitos do gesso agrícola no solo e também no desenvolvimento das culturas, de acordo com as características edafoclimáticas de cada agroecossistema. Quando as práticas de manejo do solo e das culturas são realizadas incorretamente, podem ocorrer alterações nas propriedades físicas do solo, nas quais podem ser permanentes ou

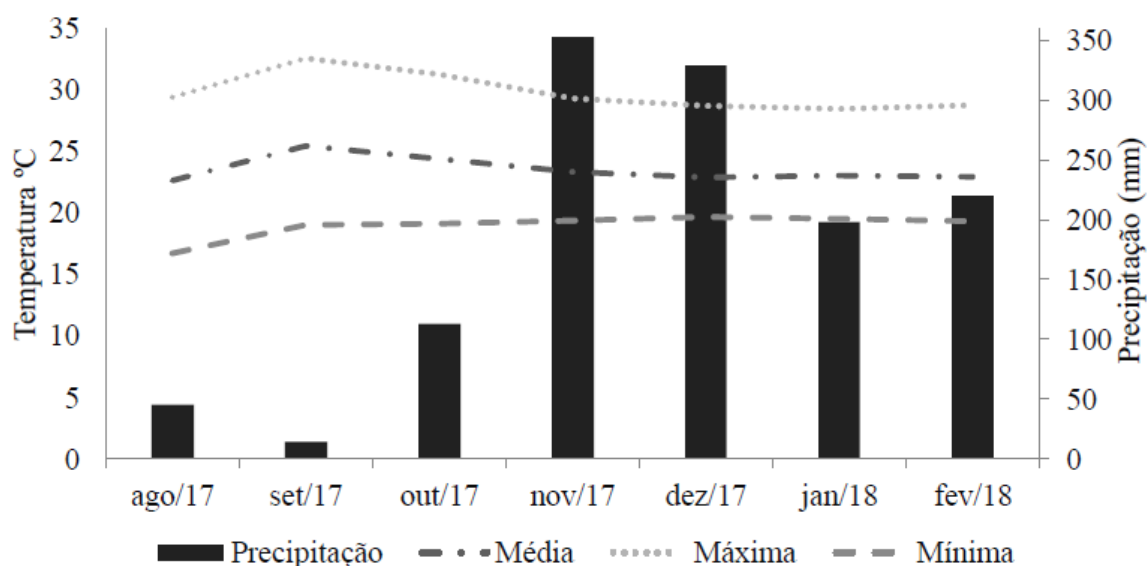
temporárias, sendo assim necessário avaliar a qualidade física do solo, pensando na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (Bavoso et al. 2012).

Nos últimos anos diversos estudos avaliaram a interação do calcário e gesso agrícola principalmente sob SSD, nas propriedades físicas e químicas do solo e no rendimento de grãos das culturas (Caires et al. 2011; Pauletti et al. 2014; Crusciol et al. 2016). Todavia, segundo Fontoura et al. (2019) ainda são incipientes o número de trabalhos que avaliam o efeito de calcários com diferentes reatividades e diferentes doses combinadas com gesso agrícola principalmente a longo prazo, e como se sabe, o efeito residual do calcário e gesso pode durar mais de duas décadas, como verificado para calagem por Rheinheimer et al. (2005).

As pesquisas que evidenciam a eficiência do uso do calcário e do gesso agrícola para melhoria das propriedades física e químicas do solo são escassas. Dessa forma, objetivou-se avaliar a influência de calcário na presença e ausência de gesso agrícola nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho e na produtividade de grãos de soja e milho, na implantação do sistema de semeadura direta.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido durante os meses de agosto de 2017 a fevereiro de 2018 na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Município de Chapadão do Sul, Estado de Mato Grosso do Sul, sendo as coordenadas geográficas 18°46'13,4" S e 52°37'19,8" W e altitude de 819 m. O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação média anual de 1.850 mm e umidade relativa média anual de 64,8%, apresenta temperatura média anual variando de 13°C a 28°C (Castro et al. 2012). Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura do ar registrado durante a condução do experimento (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) mensal durante o período de agosto de 2017 a fevereiro de 2018. Fonte: INMET.

O solo da área do experimento é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa segundo a metodologia de Santos et al. (2018). A Tabela 1 apresenta a análise química da área experimental antes da instalação do experimento, as amostras foram retiradas nas camadas de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m.

**Tabela 1.** Análise química do solo anterior à instalação do experimento.

Camada	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	S	M.O	CTC	V	m	Argila	Silte	Areia
(m)	CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>c</sub>				-mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub>	%	g dm <sup>-3</sup>				
0,0-0,20	5,1	2,4	0,9	0,05	4,9	64	8,4	2,9	24,5	8,4	41,4	1,4	495	75	430
0,20-0,40	4,7	1,4	0,5	0,19	5,5	52	5,2	4	21,3	7,5	27	8,6	520	50	430

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e os seguintes tratamentos: T1 = 0 kg ha<sup>-1</sup> de calcário + 0 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, T2 = 800 kg ha<sup>-1</sup> calcário + 0 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, T3 = 0 kg ha<sup>-1</sup> de calcário + 2600 kg ha<sup>-1</sup> de gesso e T4 = 800 kg ha<sup>-1</sup> calcário + 2600 kg ha<sup>-1</sup> gesso. Cada parcela experimental, foi constituída por 5 x 5 m, sendo 25 m<sup>2</sup> por unidade experimental e 800 m<sup>2</sup> total.

A área estudada encontrava-se em pousio há dois anos e com o sistema de semeadura direta recém implantado. No dia 15 de agosto de 2017 foi realizada a

aplicação de calcário com PRNT (poder relativo de neutralização total) de 90%, óxido de 74 Cálcio (CaO) de 29 % e óxido de Magnésio (MgO) de 20%, visando elevar a saturação de bases a 50%. A aplicação do gesso agrícola foi realizada dia 20 de outubro de 2017. As recomendações para a calagem e gessagem seguiram as recomendações de Souza e Lobato (2004), ambos foram aplicados em superfície sem incorporação. Sendo que foi realizada uma dessecação da área no dia 23 de outubro de 2017.

A semeadura do milho e da soja foi realizada no dia 31 de outubro de 2017, utilizou-se 3 sementes de milho (cv. 3612 PW) e 22 sementes de soja (cv. 2728) por metro, com espaçamento de 0,45 m entre as linhas, a adubação utilizada foi de acordo com a recomendação de Souza e Lobato (2004).

Para coleta das amostras físicas de solo foram abertas trincheiras, com dimensões de 0,50 m de largura por 0,50 m de comprimento e com 0,40 m de profundidade, sendo as amostras coletadas nas profundidades de 0,00 - 0,10 (DS1e PT1), 0,10 - 0,20 (DS2 e PT2), 0,20 - 0,30 (DS3 e PT3) e 0,30 - 0,40 m (DS4 e PT4).

A densidade do solo (DS) foi determinada através do método do anel volumétrico e a porosidade total (PT) pela porcentagem de saturação por água do solo (Teixeira et al. 2017).

A produtividade de grãos de milho e soja foram avaliadas após a maturação fisiológica das culturas, por meio de colheita manual e trilhagem em máquina de debulhadora estacionária. Foram colhidos seis metros lineares centrais de cada parcela, desprezando-se as extremidades. O teor de água nos grãos foi corrigido para 13%. Duas amostras de 100 grãos de cada parcela de milho e soja foram obtidas para determinação da massa seca de 100 grãos.

Para verificar a interrelação entre os tratamentos e as variáveis avaliadas foi realizada a análise de variáveis canônicas. Essa técnica é análoga a de componentes principais, porém é indicada quando o experimento possui delineamento experimental. As correlações de Pearson ( $r$ ) entre as variáveis avaliadas foram estimadas para cada cultura. A rede de correlação foi usada para expressar graficamente a relação funcional entre as estimativas dos coeficientes de correlação entre os caracteres, onde a proximidade entre os nós (traços) foi proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós. A espessura das arestas foi controlada aplicando um valor de corte de 0,60, o que significava que apenas  $|r_{XY}| \geq 0,60$  tiveram suas bordas destacadas. Finalmente, as correlações positivas foram destacadas em verde, enquanto as correlações negativas foram representadas em escala de vermelho.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variáveis canônicas aplicada aos dados do experimento de soja está contida na Figura 2. A variância acumulada total acumulada nas duas variáveis canônicas foi de 97,30%. Isso demonstra alta precisão ao utilizar o biplot destas variáveis canônicas na interpretação dos resultados. É possível observar que a aplicação somente de calcário proporcionou os maiores valores de DS3, DS4, PT1 e MCG.

Muitos estudos relativos à compactação do solo, que utilizam a densidade do solo como atributo indicador convergem para o fato de que seu aumento desencadearia, no geral, uma diminuição da produtividade agrícola (Andreotti et al. 2008). A menores densidades do solo observadas através do uso do calcário nas camadas superficiais (DS1 e DS2), pode ser atribuído à quantidade e a atividade de cátions bivalentes ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) presentes no complexo de troca o solo, pois em condições de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) > 5,5, podem formar ligações entre os polímeros da matéria orgânica e a superfície dos coloides, incrementando a formação de agregados (Castro Filho 2002; Oliveira 2008).

Quanto a porosidade total, Andreotti et al. (2010), ressaltam que a porosidade total, por se referir às fases líquida e gasosa do solo, está estreitamente ligada aos processos bioquímicos das plantas e sua produtividade. Os resultados seguem a linha obtida por Corrêa et al. (2009), onde, superficialmente, a presença de  $\text{Ca}^{2+}$  provinda do calcário aumenta a porosidade total, sendo essa uma alteração distinta para a profundidade do solo.

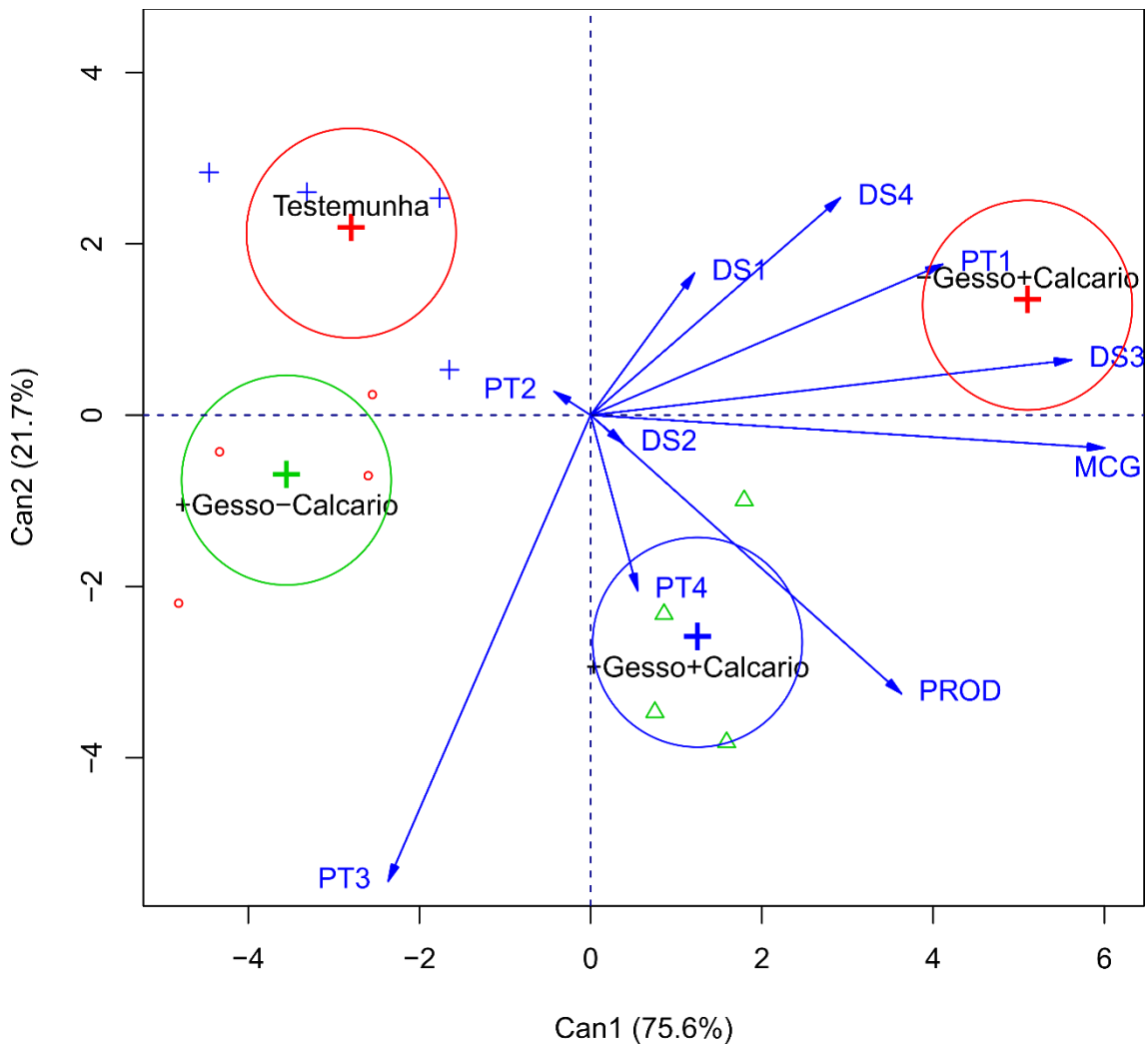
A aplicação do calcário pode estar envolvida no aumento de MCG, pois o Ca é considerado um nutriente importante na germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, fazendo com que ocorra a fecundação da flor (Marschner 2012).

A aplicação de gesso e calcário promoveu os maiores valores para a PT3, PT4 e PROD conforme indica a Figura 1. Este resultado pode estar relacionado ao maior desenvolvimento radicular, pois o gesso agrícola promove lixiviação do sulfato e de cátions (Ca, Mg e K), diminuindo assim a toxidez do alumínio em profundidade, favorecendo maior absorção de água e nutrientes (Castro et al. 2011). Desta forma, uma vez que os microporos retêm água disponível para as plantas (Brady, e Weil 2008), o efeito do gesso agrícola de aumentar a microporosidade na camada arável, onde nutrientes estão concentrados em solos sob SMC e SSD (Cassol et al. 2002), pode aumentar a disponibilidade de água e nutrientes para as culturas.



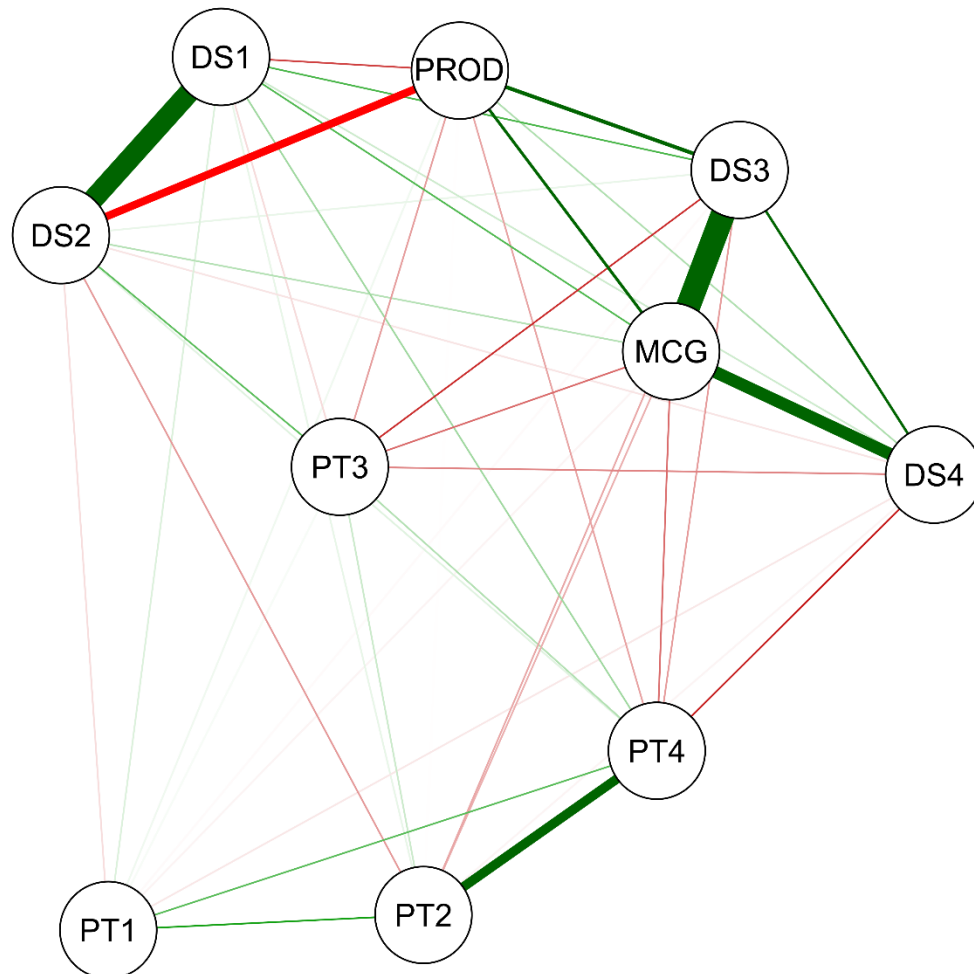
A literatura indica que o solo ideal, é aquele que apresente valores de 0,06 a 0,16  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para macroporosidade, e até 0,33  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para microporosidade e aproximadamente 0,50  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para porosidade total do solo (Vomocil e Flocker 1961; Hillel 1970; Baver 1972; Kiehl 1979; Gupta e Allmaras 1987; Ribeiro et al. 2007). Nesta pesquisa os dados de PT foram inferiores a classe ideal de solo (0,49  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).

De acordo com Fageria e Rajora (2013), o aumento no rendimento de grãos em função da aplicação de calcário e gesso está associado a melhoria das propriedades químicas do solo, mesmo não sendo observado aumento de pH e redução do H+Al.



**Figura 2.** Análise de variáveis canônicas da densidade do solo (DS1, DS2, DS3 e DS4), porosidade total (PT1, PT2, PT3 e PT4), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em soja cultivada com e sem aplicação de calcário e gesso.

A rede de correlações de Pearson construída para as variáveis avaliadas na soja está contida na Figura 3. A PROD se correlacionou negativamente com DS2 e em menor magnitude com DS1. A MCG se correlacionou de forma positiva com PROD, DS3 e DS4, sendo que nestes dois últimos a correlação foi de alta magnitude. Outras correlações positivas de alta magnitude foram observadas entre DS1 com DS2 e PT2 com PT4.



**Figura 3.** Rede de correlações de Pearson da densidade do solo (DS1, DS2, DS3 e DS4), porosidade total (PT1, PT2, PT3 e PT4), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em soja cultivada com e sem aplicação de calcário e gesso.

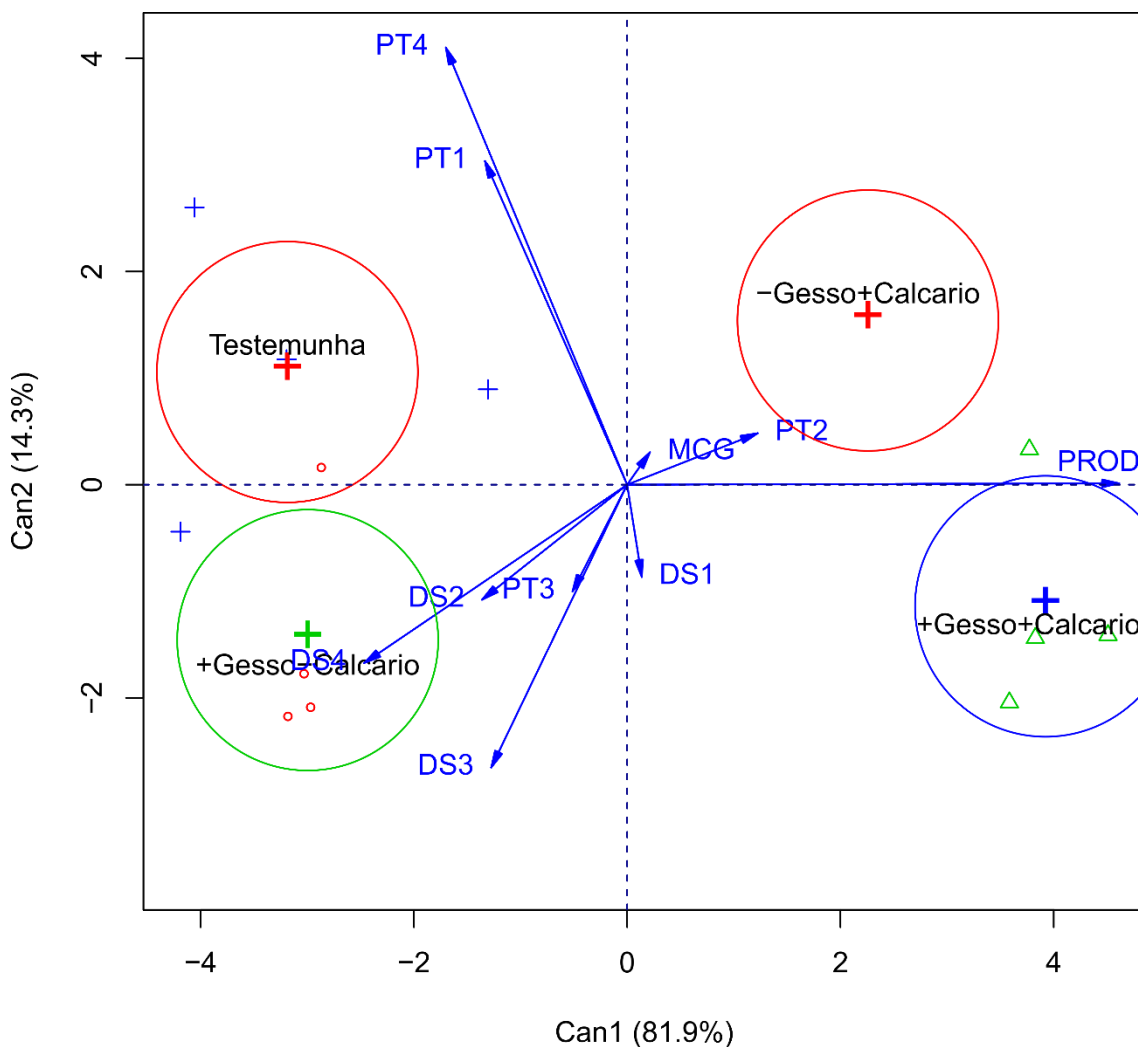
Os dados obtidos na Figura 4 demonstram que a correlação entre a PROD e as DS2 e DS1 foram negativas, ou seja, conforme uma variável aumenta a outra relacionada diminuí, com aumento da densidade do solo ocorre a diminuição da produtividade consequentemente, corroborando com Veen et al. (1992), que afirmam que solos soltos e porosos apresentam menor condutividade hidráulica do solo não saturado e menor contato das raízes com o solo, influenciando negativamente a absorção de água e nutrientes.

Assim, em sistema de plantio direto, a alteração na distribuição de raízes em profundidade, aumentando a concentração de raízes na camada superficial de 0,0–0,05 m é fator limitante na obtenção de produtividade adequada de soja, principalmente em condições de menor quantidade de água no solo, conforme também mencionado por Camargo e Alleoni (1997). De acordo com Barber (1994) verificou que a produtividade de soja (cultivar IAC 8), em sistemas de manejo, decresceu vários anos a partir da resistência à penetração de 2,0 a 3,0 MPa, com menores valores para anos com maior precipitação pluvial, em consequência de uma menor drenagem interna e deficiência de aeração no solo compactado. Esses resultados indicam que a cultura da soja é sensível à compactação do solo.

Para o milho, a análise de variáveis canônicas reuniu 96,20% da variância total nas duas primeiras variáveis canônicas. Esses resultados demonstram que o biplot gerado possui alta representatividade da variância total dos dados. Nele, é possível observar que a aplicação somente de calcário promoveu maiores médias de PT2 e MCG.

Os resultados seguem a linha obtida por Corrêa et al. (2009), onde, superficialmente, a presença de  $\text{Ca}^{2+}$  provinda do calcário aumenta a porosidade total, sendo essa uma alteração distinta para a profundidade do solo. A aplicação do calcário pode estar envolvida no aumento de MCG, pois o Ca é considerado um nutriente importante na germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico, fazendo com que ocorra a fecundação da flor (Marschner 2012). Por outro lado, tais resultados mostram quão complexa é a relação entre a fertilidade, química e física do solo. A lixiviação de um nutriente primário como o  $\text{K}^+$  é um grave problema ao desenvolvimento vegetal, principalmente em solos com baixos teores do elemento (Brunetto et al. 2005; Werle et al. 2008; Jaiswal et al. 2016). Porém, o aumento da Pt e redução da Ds favorecem o crescimento radicular e o desenvolvimento das plantas (Bergamin et al. 2010; Mazurana et al. 2011).

Por outro lado, a aplicação apenas de gesso esteve associada aos maiores valores de DS2, DS3, DS4 e PT3. O gesso agrícola tem ação agregante, através do fornecimento de cátions que atuam na neutralização das cargas negativas (Zandoná et al. 2015). Enquanto as camadas mais profundas apresentam menor volume de raízes, o que resulta em menor aeração do solo, sendo que o sistema radicular é fundamental para aumentar a aeração e diminuir a densidade do solo (Andrade et al. 2009). Tomando como base os valores críticos de (Tormena et al. 2008), que afirmam que a densidade do solo acima de  $1,16 \text{ g cm}^{-3}$ , corresponde ao limite que compromete o sistema radicular das plantas e afeta a qualidade física do solo, os resultados obtidos apresentam valores inferiores aos citados como críticos ao desenvolvimento das plantas.



**Figura 4.** Análise de variáveis canônicas da densidade do solo (DS1, DS2, DS3 e DS4), porosidade total (PT1, PT2, PT3 e PT4), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em milho cultivado com e sem aplicação de calcário e gesso.

Os poros totais são constituídos pelos macros e microporos, o aumento de um reduz a porcentagem do outro (Wendling et al. 2012). Além de ser importante indicador da qualidade física do solo, pois quanto maior o volume de poros, estes refletem na condição que o solo não houve alteração com a pressão exercida pelo tráfego e revolvimento (Oliveira et al. 2015). Sendo que o uso inadequado do solo, por ausência de práticas conservacionistas a excessivos revolvimentos, pode provocar o aumento da DS, e reduzir a PT, entre outros (Soares et al. 2016).

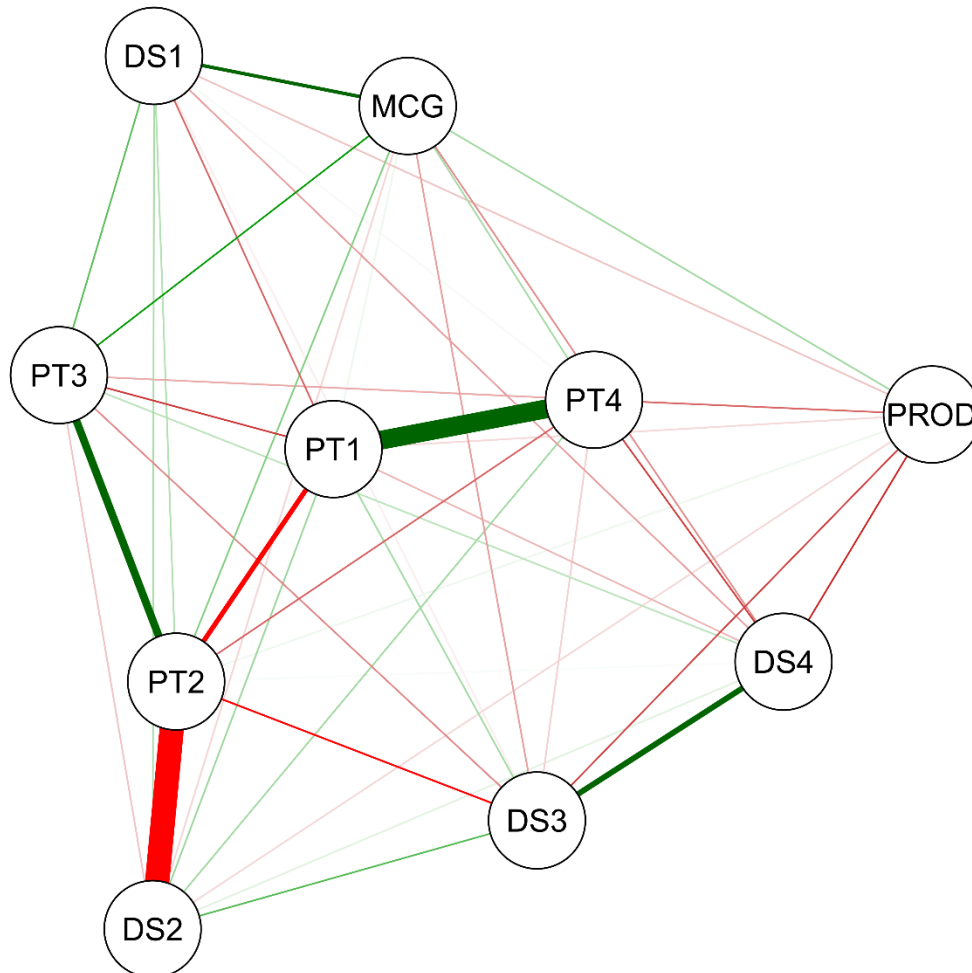
A aplicação de gesso e calcário foi o tratamento mais eficaz em aumentar a PROD. Rheinheimer et al. (2005), verificaram que a cultura do milho é altamente responsiva a aplicação de gesso agrícola. E devido o gesso ter o efeito condicionador de solo em profundidade, as maiores respostas do milho foram observadas em condições de déficit hídrico (Caires 1999), o que não ocorreu durante esse experimento. De maneira semelhante, Caires et al. (2004) e Zandoná et al. (2015) observaram que a produção do milho foi positivamente influenciada pela aplicação combinada de gesso e calcário, e afirmam que o incremento de Ca é um dos fatores determinantes para esse resultado.

Caires et al. (2004) observaram aumento na produtividade do milho, um incremento de 17%, dados que não foram relacionados ao crescimento do sistema radicular e sim do aumento da saturação por Ca nas camadas superficiais. A dose de 2.361,5 kg ha<sup>-1</sup> de calcário tem como ponto de produtividade máxima de 7.551,93 kg ha<sup>-1</sup>. O aumento da produtividade do milho em relação à calagem ocorre através da diminuição da acidez do solo, que incrementa os componentes de produção, como a massa de cem grãos, número de grãos por espiga e peso de espiga (Prado 2001). Esse aumento pode estar relacionado ao melhor condicionamento do solo, através da aplicação do calcário, diminuindo o Al<sup>+3</sup> tóxico, e permitindo melhor desenvolvimento radicular da cultura. Caires et al. (2011) também destaca que plantas de milho são menos eficientes de plantas de soja em absorver Ca<sup>2+</sup>. Com isso, plantas de milho são mais responsivas a aplicações de corretivos da acidez e ao gesso agrícola.

Fageria e Rajola et al. (2013) relatam que o aumento no rendimento de grãos em função da aplicação de calcário e gesso está associado a melhoria das propriedades químicas do solo, mesmo não sendo observado aumento de pH e redução do H+Al.

Na Figura 5 está contida a rede de correlações de Pearson para as variáveis avaliadas no milho. As variáveis PT4 e DS4 se correlacionaram de forma negativa e em baixa magnitude com a PROD. As variáveis DS1 e PT3 se correlacionaram de forma

positiva e em baixa magnitude com MCG. As correlações em maior magnitude foram entre PT1 com PT4 de forma positiva e PT2 com DS2 de forma negativa. Correlações em magnitude intermediária e positiva foram observadas entre PT2 com PT3 e DS3 com DS4.



**Figura 5.** Rede de correlações de Pearson da densidade do solo (DS1, DS2, DS3 e DS4), porosidade total (PT1, PT2, PT3 e PT4), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD), avaliadas em milho cultivado com e sem aplicação de calcário e gesso.

Os dados obtidos na Figura 4, demonstraram que as variáveis PT4 e DS4 apresentaram correlação negativa com a PROD, ou seja, conforme o aumento da DS4 e PT4 ocorre a diminuição da PROD. Segundo Letey (1958), o aumento da resistência à penetração do solo causa o crescimento reduzido do sistema radicular, o qual, por meio

de sinais hormonais enviados pelas raízes à parte aérea da planta, reduz seu crescimento, podendo assim comprometer a produtividade. Além disso, menor quantidade de água chega e ascende às células das raízes, diminuindo a pressão hidrostática e não mantendo o mínimo de turgor necessário para a expansão celular (Hsiao e Xu 2000). Ambos os fatores associados diminuem ou até mesmo impedem o crescimento radicular, como apontam (Hamza e Anderson 2005).

#### **4. CONCLUSÃO**

O uso do calcário resulta em menores valores de densidade do solo e porosidade nas camadas superficiais do solo, e a maiores valores de massa seca de grãos de soja e milho. Quando associado ao gesso, observa - se maiores valores de porosidade total em camadas mais profundas do solo e maior produtividade de grãos de soja e milho. A aplicação de gesso isolada proporciona maiores valores de densidade e porosidade em camadas mais profundas do solo cultivado com milho.

#### **5. REFERÊNCIAS**

ANDRADE, M. G., MELO, V. F., GABARDO, J., SOUZA, L .C. P. e REISSMANN, C. B. 2009. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: I - Fitoextração. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, n. 33, p. 1829-1836.

ANDREOTTI, M., FILHO, M. C. M. T., BUZETTI, S., BENETT, C. G. S. 2008. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, n. 30, v. 1, p. 109-115.

BARBER, B., OLSEN, J. E., SHAGLE, S. C. 1994. Associations between Parental Psychological Control and Behavioral Control and Youth Internalized and Externalized Behaviors. **Child Development**, n. 65, n. 4, p. 1120-1136.

BAVER, L. D., GARDNER W. H. 1972. **Soil physics**. 4. ed. New York, John Wiley e Sons, 498p.

BAVOSO, M., SILVA, A. P., FIGUEIREDO, G. C., TORMENA, C. A., GIAROLA, N. F. B. 2012. Resiliência física de dois Latossolos vermelhos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1892-1904.

BERGAMIN, A. C., VITORINO, A. C. T., FRANCHINI, J. C., SOUZA, C. M. A., SOUZA, R. S. 2010. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 681- 691.

BORTOLUZZI, E. C., PARIZE, G. L., KORCHAGIN, J., SILVA, V. R., RHEINHEIMER, D. S., KAMINSKI, J. 2014. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** Viçosa, v. 38, n. 1, p. 262-271.

BRADY, N. C., WEIL, R. R. 2008. **The nature and properties of soils**. 14th ed, New Jersey: Prentice Hall.

BROCH, D. L., SALTON, J. C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., BOENI, M., CONCEIÇÃO, P. C., FABRÍCIO, A. C., MACEDO, M. C. M. 2008. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21.

BRUNETTO, G., GATIBONI, L. C., SANTOS, D. R., SAGGIN, A., JOÃO, K. 2005. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 565–571.

CAIRES, E. F., GARBUIO, F. J., CHURKA, S., JORIS, H. A .W. 2011. Use of Gypsum for Crop Grain Production under a Subtropical No-Till Cropping System. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 6, p. 1804-1814.

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



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

CAMARGO, O. A., ALLEONI, L. R. F. 1997. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 132p.

CASSOL, E. A., LEVIEN, R., ANGHINONI, L., BADELUCCI, M. P. 2002. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 26, n. 3, p. 705-712.

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: MORAES, M. H., MULLER, M. M. L., FOLONI, J. S. S. 2002. **Qualidade física do solo: métodos de estudo**: sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: FUNEP, p.21-46.

CASTRO, G. S. A., CALONEGO, J. C., CRUSCIOL, C. A. C. 2011. Propriedades físicas do solo em 300 sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 46, n. 12, p. 1690–1698.

CASTRO, M. A., CUNHA, F. F., LIMA, S. F., NETO, V. B. P., LEITE, A. P., MAGALHÃES, F. F., CRUZ, G. H. M. 2012. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-Grossense. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 3, n. 2, p. 498-512.

CORRÊA, J. C., BULL, L. T., CRUSCIOL, C. A. C., MORAES, M. H. 2009. Alteração de atributos físicos em latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v. 33, n. 2, p. 263-272.

COSTA, A., ALBUQUERQUE, J. A., MAFRA, A. L., SILVA, F. R. 2009. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 235-244.

CRUSCIOL, C. A., C. ARTIGIANI, A. C. C. A., FILHO, C. A. C., SORATTO, R. P., NASCENTE, A. S., ALVAREZ, R. C. F. 2016. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical notill system. **Catena**, Cremlingen, v. 137, p.87–99.

ERNANI, P. R., NASCIMENTO, J. A. L., CAMPOS, M. L., CAMILLO, R. J. 2000. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 537-544.

FAGERIA, M. S., RAJORA, O. P. 2013. Effects of harvesting of increasing intensities on genetic diversity and population structure of white spruce. **Evolutionary Applications**, New Jersey v.6, n. 5, p. 778–794.

FONTOURA, N. F., BRAUN, A. S., MILANI, P. C. 2009. Estimating size at first maturity (L50) from Gonadosomatic Index (GSI) data. **Neotropical Ichthyology**, Maringá, v. 7, n. 2, p. 217-222.

GUPTA, S. C., e ALLMARAS, R. R. 1987. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Sciences**, New York, v. 6, p. 65-100.

HAMZA, M. A., ANDERSON, W. K., 2005. Soil compaction incropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, v. 82, n. 2, p. 121 – 145.

HILLEL, D. 1970. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 231 p.

HSIAO, T.C., XU, L. K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 350, p. 1595 – 1616.

JAISWAL, D. K., VERMA, J. P., PRAKASH, S., MEENA, V. S., MEENA, R. S. 2016. Potassium as an important plant nutrient in sustainable agriculture: A state of the art. **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture**. Springer, New Delhi, p. 21–29.

KIEHL, E. J. 1979. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 262 p., 1979.

LETEY, J. 1958. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, n. 1, p. 277-294.

LOPES, A. S. 1994. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. ANDA, boletim técnico nº5, 2ª edição, São Paulo, 62p.

MARSCHNER, H. 2012. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ª ed. Amsterdam: Elsevier; Academic Press. 672p.

MAZURANA, M., LEVIEN, R., MULLER, J., CONTE, O. 2011. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1197-1206.

OLIVEIRA, I. A., JUNIOR, J. M., CAMPOS, M. C. C., AQUINO, R. E., FREITAS, L., SIQUEIRA, D. S., CUNHA, J. M. 2015. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v.45, n. p.1 – 12.

PAULETTI, V., PIERRI, L., RANZAN, T., BARTH, G., MOTTA, A. C. V. 2014. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505.

PRADO, R. M. 2001. Saturação por bases e híbridos de milho sob sistema plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 391-394.

RAIJ, B. V. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. 1ª ed. Piracicaba, SP: IPNI, 420 p.

RHEINHEIMER, D. S., ALVAREZ, J. W. R., FILHO, B. D. O., SILVA, L. S., BORTOLUZZI, E. C. 2005. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 562-569.

RIBEIRO, K. D., MENEZES, S. M., MESQUITA, M. G. B. F., SAMPAIO, F. de M. T. 2007. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, Lavras, p. 1167 – 1175.

RODRIGHERO, M. B., BARTH, G., CAIRES, E. F. 2015. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de Magnésio e Granulometrias em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1723-1736.

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., FILHO, A. J. C., OLIVEIRA, J. B., CUNHA, T. J. F. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5 ed., Brasília, DF: EMBRAPA, 356 p.

SOARES, M. D. R., OLIVEIRA, I. A., CUNHA, J. M., SANTOS, L. A. C., FONSECA, J. S., SOUZA, Z. M. 2016. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, v. 59, n. 1, p. 9-15.

SOUSA, D. M. G., LOBATO, E. 2004. Cerrado: Correção do solo e adubação. Planaltina, DF Embrapa Cerrados, 416p.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEXEIRA, W. G. 2017. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 573p.

TORMENA, C. A., ROLOFF, G., SÁ, J. C. M. 2008. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, 301-309.

VEEN B. W., KOOISTRA, M. J., SCHOONDERBEEK, D., BOONE, F. R., NOORDWIJK, M. V. 1992. Root-Soil contact of maize, as measured by thin-section technique. III. Effects on shoot growth, nitrate and water uptake efficiency. **Plant Soil**, v. 139, p. 131–138.

VOMOCIL, J. A., FLOCKER, W. J. 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of, soil and water. **American Society of Agricultural Engineers**. Michigan, v. 4, p. 242 – 246.

WENDLING, I., UESUGI, G., SOUSA, L. P. 2012. Produção de mudas de corticeira-do-mato (*Erythrina falcata Benth*) por miniestaquia a partir de propágulos juvenil. **Colombo: Embrapa Florestas**, 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 130)

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

ZANDONÁ, R. R., BEUTLER, A. N., BURG, G. M., BARRETO, C. F., SCHMIDT, M. R. 2015. Gesso e calcário como condicionadores de atributos de um Latossolo sob cultivo de soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137.