

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EFEITO RESIDUAL DA GESSAGEM E ADUBAÇÃO
FOSFATADA NA CULTURA DO MILHO SEGUNDA SAFRA**

Héilton de Oliveira Resende
Engenheiro Agrônomo

JATAÍ - GOIÁS – BRASIL
Fevereiro – 2018

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Héilton de Oliveira Resende

Título do trabalho: EFEITO RESIDUAL DA GESSAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA DO MILHO SEGUNDA SAFRA

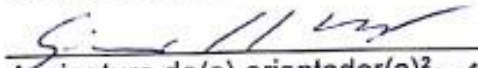
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²
Símeão Carlos Silva
UFG - Regional J3
Matricula SIAPE 19964

Data: 09/05/2018

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EFEITO RESIDUAL DA GESSAGEM E ADUBAÇÃO
FOSFATADA NA CULTURA DO MILHO SEGUNDA
SAFRA**

Héilton de Oliveira Resende

Orientador: Simério Carlos Silva Cruz

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL
Fevereiro – 2018

De Oliveira Resende, Héilton
EFEITO RESIDUAL DA GESSAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA
NA CULTURA DO MILHO SEGUNDA SAFRA [manuscrito] / Héilton de
Oliveira Resende. - 2018.
LVII, 57 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz; co-orientador Dr.
Darly Geraldo da Sena Júnior.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica
Especial de Ciências Agrárias, Jataí, Programa de Pós Graduação em Agronomia -
Produção Vegetal, Jataí, 2018.
Bibliografia.
Inclui fotografias, gráfico, tabelas.

1. Fósforo. 2. Gesso. 3. Produção. 4. Zea mays L.. I. Carlos Silva Cruz,
Simério, orient. II. Título.

CDU 631.4


UFG

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL


ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE HÉLITON DE OLIVEIRA RESENDE. - Ao vigésimo oitavo dia do mês de Fevereiro no ano de dois mil e dezoito (28/02/2018), às 14horas, reuniu-se na Sala 08 do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Regional Jataí da UFG, A Banca Examinadora, composta pelos Professores Doutores Simério Carlos Silva Cruz, Cláudio Hideo Martins da Costa e Leonardo Santos Collier, sob a presidência do primeiro, procederem na forma da resolução vigente a Defesa de Dissertação” de HÉLITON DE OLIVEIRA RESENDE, discente do PPGA, curso de Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal. Prova oral versou sobre o tema de sua dissertação com o título: **“EFEITO RESIDUAL DA GESSAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO MILHO SEGUNDA SAFRA”** A sessão foi aberta pela Presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra a seguir, foi concedida ao HÉLITON DE OLIVEIRA RESENDE, autor da dissertação que, entre 30 a 45 minutos procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu o examinando, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Termina a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo em vista a Resolução nº.1143/2013 do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós – Graduação em Agronomia e procedidas às correções recomendadas “A Comissão Examinadora” emitiu seu parecer sobre a defesa realizada pelo (a) discente, considerando-o: **APROVADO** () **REPROVADO** por unanimidade, a “Defesa de Dissertação” para fins da obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA pela Universidade Federal de Goiás. Lembrando que o encerramento deste processo avaliativo se dará após a entrega da versão definitiva da dissertação com as devidas correções sugeridas pela Banca Examinadora, bem como a entrega do artigo científico ou comprovante de submissão do mesmo em periódico Nacional e, ou, internacional, depois de procedidas as modificações sugeridas em detrimento da autorização do Professor (a) Orientador (a). Cumpridas as formalidades de pauta, às 14:40 horas, a Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz, Presidente da Banca Examinadora encerrou a sessão, e para constar, lavrou-se a ATA, assinada em três vias de igual teor.



Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz
Presidente da Banca



Prof. Dr. Cláudio Hideo Martins da Costa
Membro interno da Banca



Prof. Dr. Leonardo Santos Collier
Membro externo da Banca

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

HÉLITON DE OLIVEIRA RESENDE- nasceu em 26 de novembro de 1991 em Portelândia - GO. Formou-se Bacharel em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás Regional Jataí no ano de 2015. Realizou sua iniciação científica de 2013 a 2015 pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, orientado pelo Professor Doutor Simério Carlos Silva Cruz, docente da mesma instituição. Atualmente cursa Mestrado em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás, orientado pelo Professor Doutor Simério Carlos Silva Cruz, onde desenvolve trabalhos referentes à fertilidade do solo e nutrição de plantas.

Primeiramente à Deus, aos meus pais Edvaldo Orlandino de Resende e Elenir de Oliveira Resende e minha esposa Flávia Fernanda Alves da Silva.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar e iluminar em todos os momentos de minha vida e permitir à realização de mais um sonho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz, pelos conhecimentos repassados, pela oportunidade, atenção, confiança e amizade.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG – Regional Jataí.

Em especial a minha mãe Elenir de Oliveira Resende por dedicar sua vida a realização dos meus sonhos e estar sempre ao meu lado apoiando e dando forças.

Ao meu pai Edvaldo Orlandino de Resende pelo apoio e por estar ao meu lado em todos os momentos;

A minha esposa Flávia Fernanda Alves da Silva pela força, confiança e companheirismo;

Aos colegas que me apoiaram e ajudaram nos momentos difíceis tanto na minha vida profissional e pessoal.

A todos os meus familiares, que me apoiaram nessa longa jornada da graduação e pós-graduação;

A todos que colaboraram para o sucesso desse trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Semeadura direta	3
2.2. Gesso agrícola	4
2.3. Fósforo	6
2.4. Gesso agrícola na cultura do milho	8
2.5. Gesso agrícola associado ao fósforo	9
2.6. Milho	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Localização da área experimental	12
3.2. Tratamento e delineamento experimental	15
3.3. Instalação e condução do experimento	16
3.4. Análise estatística	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Análise química do solo	20
4.2. Análise química foliar	31
4.3. Massa seca de raízes	34
4.4. Componentes da produção do milho	36
4.5. Produtividade de grãos do milho	38
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
5. CONCLUSÕES	40
6. REFERÊNCIAS	41

EFEITO RESIDUAL DA GESSAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA DO MILHO SEGUNDA SAFRA

RESUMO - A utilização de gesso agrícola e a adubação fosfatada são essenciais para a produção de grãos em solos do Cerrado brasileiro, pois neutraliza o efeito do alumínio tóxico e fornece nutrientes importantes para o metabolismo da planta. Objetivou-se com esse trabalho, avaliar o efeito residual do gesso agrícola associado à adubação fosfatada sobre as características químicas do solo, nutrição mineral, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho segunda safra, sob semeadura direta. O experimento foi conduzido na UFG, Regional Jataí, com delineamento experimental constituído de 15 tratamentos estabelecidos em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 3, com 4 repetições. O primeiro fator correspondeu a doses de gesso (0, 1, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹) e o segundo fator correspondeu a doses de fósforo (0, 40 e 80 kg ha⁻¹). Foram avaliados na cultura do milho segunda safra semeado 16 meses após a aplicação das doses referentes aos tratamentos da fonte de variação gesso agrícola os seguintes componentes: massa de raízes secas, teores de macro e micronutrientes nas folhas, componentes da produção e a produtividade de grãos. Nas amostras de solo coletadas nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm avaliou-se os teores de Ca, Mg, K, P, e S. O efeito residual (16 meses) do gesso não proporciona aumento na eficiência da adubação fosfatada para a cultura do milho segunda safra. Em condições de estresse hídrico, a produtividade de grãos de milho responde a aplicação de gesso agrícola além da dose recomendada pela fórmula $NG = 5 \times g \text{ kg}^{-1}$ de argila, que para esta pesquisa é de 2,93 Mg ha⁻¹ de gesso. O fósforo proporciona incrementos na produtividade de grãos de milho somente quando da aplicação de 100% da dose recomendada (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Palavras-chaves: Fósforo, gesso, solo, produtividade de grãos, *Zea mays* L.

RESIDUAL EFFECT OF GYPSUM AND FOSPHATED FERTILIZATION IN THE CULTURE OF CORN SECOND CROP

SUMMARY - The use of gypsum and phosphatic fertilization are essential for the production of grains in Brazilian Cerrado soils, since they neutralize the toxic aluminum effect and provide important nutrients for plant metabolism. The objective of this work was to evaluate the residual effect of the agricultural gypsum associated with phosphate fertilization on the chemical characteristics of the soil, mineral nutrition, development and yield of second crop maize under direct sowing. The experiment was conducted at UFG, Jataí Regional, with an experimental design consisting of 15 treatments established in randomized blocks in a 5 x 3 factorial scheme, with 4 replicates. The first factor corresponded to doses of gypsum (0, 1, 2, 4 and 8 Mg ha⁻¹) and the second factor corresponded to doses of phosphorus (0, 40 and 80 kg ha⁻¹). The following components were evaluated in the maize crop: second crop 16 months after the application of the doses referring to the treatments of the source of variation of the gypsum, the following components: dry root mass, macro and micronutrient contents in the leaves, production components and grain yield. In the soil samples collected in the 0-10, 20-40 and 40-60 cm layers the Ca, Mg, K, P, and S contents were evaluated. The residual effect (16 months) of gypsum did not increase efficiency of phosphate fertilization for second crop maize. Under water stress conditions, the yield of corn grains responds to the application of agricultural gypsum in addition to the dose recommended by the formula $NP = 5 \times g \text{ kg}^{-1}$ of clay, which for this research is 2.93 Mg ha⁻¹ of gypsum. Phosphorus provides increases in maize grain yield only when 100% of the recommended dose is applied (80 kg ha⁻¹ of P₂O₅).

Keywords: Phosphorus, gypsum, soil, grain yield, *Zea mays* L

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas e a criação de animais são atividades complementares e elementares para o crescimento de uma região. Nesse contexto, a cultura do milho é de suma importância e o milho safrinha ou segunda safra, que é semeado de janeiro a março, destaca-se como uma das principais culturas de produção de grãos no Brasil, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, sendo semeado imediatamente após a colheita da soja (CONAB, 2017).

Em função da época em que é semeado, o milho segunda safra enfrenta frequentemente períodos, por vezes longos, de estresse hídrico. Desta forma, o manejo do solo nas áreas em que é comum o cultivo desta cultura, deve proporcionar condições ótimas para o pleno desenvolvimento radicular do milho, principalmente em profundidade, uma vez que esta prática permitirá maior volume de solo explorado e conseqüentemente, maior acesso a água e a nutrientes, com foco àqueles de baixa mobilidade ou imóveis no solo como o fósforo (P) por exemplo.

Dentre os principais limitadores no solo para o pleno desenvolvimento do sistema radicular das culturas agrícolas, destacam-se os de ordem física, como a compactação, a redução da porosidade e da aeração do solo, e os de ordem química, como o excesso de alumínio (Al^{3+}) e os baixos teores de cálcio (Ca^{2+}) e P em subsuperfície.

A calagem tem sido, há muitos anos, a principal ferramenta para a correção da acidez e o fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} ao solo, porém, em áreas de sistema plantio direto estabelecido, a aplicação deste corretivo fica limitada a superfície do solo, uma vez que se evita a perturbação excessiva do solo com a incorporação do mesmo. Desta forma, tem-se verificado um efeito restrito da calagem, principalmente nos primeiros anos, aos primeiros centímetros de profundidade do solo, o que não resolve o problema da acidez subsuperficial.

Desta forma, a aplicação de condicionadores do solo, como o gesso agrícola, em função da sua maior solubilidade, tem a finalidade de diminuir a atividade do Al^{3+} em solução e aumentar a disponibilidade de nutrientes nas camadas mais profundas do solo (RITCHEY et al., 1982). A associação de gesso agrícola à calagem pode favorecer o desenvolvimento radicular em maiores profundidades no solo, com

destaque para áreas sob plantio direto, permitindo maior eficiência na absorção de água e nutrientes, como já mencionado anteriormente (CAIRES et al., 1998).

As condições edáficas em que se recomenda a utilização do gesso agrícola são as seguintes: teor de Ca^{2+} menor que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e saturação por Al^{3+} maior que 20% na camada de 20-40 e 40-60 cm (SOUSA & LOBATO, 2004). No entanto, tem sido reportado na literatura efeito positivo das culturas, com destaque para o milho, a aplicação deste condicionador em solos onde as condições químicas relatadas anteriormente não são evidentes (MASCHIETTO, 2009).

Além do Ca^{2+} como já mencionado, o P é um elemento muito importante para o desenvolvimento radicular das culturas (RESENDE et al., 2011), entretanto, com a desvantagem dos solos tropicais serem naturalmente pobres em nutrientes com destaque para o P, não teriam proporcionado desempenho importante na produção de grãos no que tange o atual contexto da agricultura brasileira sem a adição de fertilizantes de forma adequada, pois, apresentam normalmente baixa concentração de P disponível e alto poder de “fixação” ou “retenção” do P fornecido via adubação (EBERHARDT et al., 2008).

Existe a hipótese de que o maior desenvolvimento do sistema radicular proporcionado pelo uso do gesso agrícola, frequentemente relatado na literatura (RAIJ, 1988; CAIRES et al. 1999; 2003; GARBUIO, 2006; ZANDONÁ et al., 2015; SOARES, 2016), pode aumentar a eficiência de absorção de P pelas plantas em função do maior volume de solo explorado, uma vez que esse nutriente é praticamente imóvel no solo.

Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho, avaliar o efeito da adubação fosfatada sob efeito residual da gessagem (16 meses) sobre as propriedades químicas do solo, nutrição mineral, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho segunda safra sob semeadura direta.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Semeadura direta

O Brasil possui uma das maiores áreas agrícola cultivada em sistema plantio direto (FEBRAPDP, 2012). Estima-se que 70% das áreas cultivadas com soja e milho no país estejam sob este manejo conservacionista de solo, fazendo do Brasil o líder mundial no uso do sistema, que ocupa mais da metade de sua área plantada (BRASIL, 2016).

A adoção deste sistema vem sendo uma das melhores alternativas para a manutenção da sustentabilidade dos recursos naturais na utilização agrícola dos solos (BALBINO et al., 1996). Melhorias na qualidade física, química e biológica do solo são proporcionadas ao se adotar o sistema de plantio direto, pois o mesmo auxilia na redução de perdas de nutrientes e solo por erosão, acúmulo de matéria orgânica e na retenção e preservação da água no solo (COSTA et al., 2003; MENDES et al., 2003).

Esse sistema caracteriza-se pela semeadura em solo não revolvido coberto pela palha da cultura anterior, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das sementes com o solo (MUZILLI, 1985). No entanto a disponibilidade de nutrientes nas camadas mais superficiais pode ser alterada, devido a adoção do sistema plantio direto, principalmente para os elementos de baixa mobilidade no solo (CENTURION et al., 1985).

Do ponto de vista químico em geral, os solos cultivados no plantio direto apresentam maior concentração de nutrientes e matéria orgânica na camada superficial, até 5 cm (CENTURION et al., 1985). Em trabalhos conduzidos por Costa (2005); Almeida et al. (2005) e Fittipaldi (2006) comparando sistemas de plantio diferentes, pode-se observar que o plantio direto proporcionou maiores teores de P no solo quando comparado ao preparo convencional, provavelmente devido ao não revolvimento do solo pela aração e gradagem.

O constante revolvimento do solo e a incorporação de resíduos culturais modificam a CTC, teores de matéria orgânica, pH, dinâmica de íons e na agregação do solo (DE MARIA et al., 1999). Entretanto, o sistema de plantio direto e a

cobertura permanente do solo, em comparação com o plantio convencional, proporcionaram aumentos no pH, CTC efetiva, nos teores de bases trocáveis e P, com redução da saturação por alumínio, garantindo uma acentuada recuperação da fertilidade do solo e, conseqüentemente, um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas cultivadas (SIDIRAS & PAVAN, 1985).

2.2. Gesso agrícola

O gesso agrícola é um subproduto da indústria de ácido fosfórico originário da reação de ácido sulfúrico sobre a rocha fosfatada, realizada com o fim de produzir ácido fosfórico, (RAIJ, 1988). Esse condicionador contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de P e F (CAIRES et al., 2003; SÁVIO et al., 2011). Somente no Brasil, cerca de 4,5 milhões de toneladas de gesso agrícola são produzidos anualmente (VITTI & LUZ, 2001) sendo que para cada tonelada de P_2O_5 ocorre uma produção de 4,5 t de gesso agrícola (PINTO, 2007).

O gesso é um sal solúvel, recomendado para solos que apresentam baixos teores de cálcio, enxofre, e para neutralização do alumínio trocável no subsolo (RAIJ, 2008). A dissociação do gesso na solução do solo libera os íons Ca^{+2} e SO_4^{-2} e aproximadamente 40% do total de cálcio solúvel está presente como sulfato de cálcio ($CaSO_4$) e, portanto, potencialmente móvel no solo (PAVAN et al., 1984). Por ter alta solubilidade no solo (150 vezes mais solúvel que o calcário), o gesso fornece rapidamente o cálcio, que pode ser lixiviado em profundidade, melhorando a fertilidade e aumentando a exploração das raízes (ROSSETTO & SANTIAGO, 2011).

O gesso aplicado na superfície do solo movimentada-se, com facilidade ao longo do perfil, sob a influência da percolação da água (SORATTO, 2005). A alta mobilidade do gesso tem sido atribuída à sua maior solubilidade e à presença do ânion estável (SO_4^{2-}). Outro fato que contribui para a maior lixiviação desse material é que nas condições da camada de 0-20 cm do solo, onde prevalecem cargas negativas elevadas, acidez corrigida e teores consideráveis de P, a permanência de sulfatos é desfavorável (RAIJ, 1988).

O íon sulfato do gesso pode ainda, promover o carreamento de outras bases, como Mg e K das camadas superficiais do solo, para maiores profundidades (SILVA

et al., 1997; CAIRES et al., 2003), promovendo assim melhor distribuição desses cátions no perfil quando se utiliza de doses adequadas de gesso agrícola.

Em trabalhos conduzidos por Caires et al. (1998) foi possível observar intensa lixiviação de magnésio com a aplicação de gesso, no entanto não verificaram grandes variações nos teores de potássio ao longo do perfil. Assim, deve-se conciliar a aplicação de calcário dolomítico para compensar as perdas de magnésio trocável, quando for aplicado doses elevadas de gesso no solo (CAIRES et al., 2004), evitando-se, dessa forma, problemas com relação a nutrição das plantas cultivadas após a gessagem.

O gesso tem outra grande importância como fonte de enxofre, elemento essencial para as plantas e que sua ausência pode, muitas vezes, limitar a produção das culturas (MORAES et al., 1998). Outro aspecto relacionado a esse material é a melhoria da eficiência de absorção de outros nutrientes, principalmente o P, devido, entre outros fatores, à melhoria do ambiente radicular. O P, mesmo sendo encontrado em baixas concentrações (0,7 a 0,9% de P_2O_5) no gesso agrícola, pode ser considerado uma impureza importante para a nutrição das plantas quando o gesso é aplicado em doses elevadas (SUMNER et al., 1986; CAIRES et al., 2003).

A recomendação para aplicação de gesso é quando a saturação por alumínio for maior que 20% ou o teor de cálcio for menor que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo, nas camadas de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm, tendo ainda que considerar o teor de argila do solo, para determinar a dose de gesso agrícola, para culturas anuais através da fórmula: $NG \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 5 \times g \text{ kg}^{-1}$ de argila (SOUSA & LOBATO, 2004). No entanto, em estudo realizado em sistema de plantio direto mostrou aumento na produção de milho com a adição de gesso em solos que não tinham níveis tóxicos de Al^{3+} e que apresentavam teores suficientes de Ca^{2+} , tanto nas camadas superficiais, quanto nas camadas subsuperficiais (GARBUJO, 2006).

Tem sido encontrado incrementos importantes na produtividade do milho com a aplicação de gesso, contudo, geram-se dúvidas sobre as condições em que se podem esperar efeitos favoráveis do gesso nas produções das culturas e sobre o método de recomendação do produto (CAIRES et al., 2003), sendo ele associado ou não ao calcário aplicado em superfície ou mesmo incorporado ao solo. (CAIRES et al., 1999).

2.3. Fósforo

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais importantes para a produção agrícola da região de Cerrado, uma vez que sua disponibilidade, em condições naturais, é muito baixa, e é o elemento que limita mais frequentemente a produção. Assim, a adubação fosfatada é prática imprescindível no estabelecimento e na manutenção de qualquer sistema agrícola sustentável nessa região (SANTOS & KLIEMANN, 2005).

O P é um componente vital no processo de conversão de energia do sol em alimentos, fibras e óleos nas plantas, desempenha papel fundamental na fotossíntese, no metabolismo de açúcares, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, na expansão celular e transferência de informações genéticas (GRANT et al., 2001; TAIZ & ZEIGER, 2006).

Várias pesquisas já estabeleceram a relação entre as concentrações de P no solo e a necessidade de adicionar fertilizante contendo este nutriente para alcançar crescimento ótimo das plantas (CAIRES et al., 2003; GARBUIO, 2006; ZANDONÁ et al., 2015; SOARES, 2016).

A principal característica da dinâmica do P no solo é a sua imobilidade. Praticamente todo o P na forma solúvel advinda da fertilização ou de resíduos orgânicos é convertido no solo para formas insolúveis poucas horas após a aplicação (HANSEL, 2013).

Encontra-se na fase sólida nas formas orgânicas e inorgânicas. É na forma de íons ortofosfato inorgânicos (HPO_4^{2-} ou H_2PO_4^-), que as raízes das plantas geralmente absorvem P. Como a concentração de P no solo é muito baixa, o solo deve ser continuamente reabastecido com este nutriente a partir dos fertilizantes minerais e da matéria orgânica do solo para repor o P absorvido pelas plantas. O P presente na matéria orgânica do solo não se torna disponível para a absorção pelas plantas até que os micro-organismos convertam os compostos orgânicos em fosfatos inorgânicos simples (MALAVOLTA, 2006).

Nos fertilizantes fosfatados sob a forma de fosfato solúvel em água, em contato com a solução do solo, o P solubiliza tornando-se disponível e parte deste fica diluído na solução do solo e parte fica adsorvido ao complexo coloidal, por trocas iônicas. Em solos ácidos que apresentam elevados teores de óxidos ferro e alumínio, parte do P

disponível é fixada, tornando-o indisponível para as plantas. A aplicação de calcário é uma maneira de melhorar a indisponibilidade (MALAVOLTA, 1984).

As hidroxilas (OH^-) geradas pela reação do calcário tomam o lugar dos íons de P fixados liberando-os para a solução do solo. Este é um dos maiores benefícios indiretos da calagem. Parte do P disponível é absorvida pelos vegetais e pelos microrganismos do solo, esta se torna a fração de P imobilizado no solo, com a morte dos microrganismos do solo e dos restos de culturas, o P imobilizado pode tornar-se, novamente, disponível para as plantas pelo processo da mineralização da matéria orgânica (SOUSA et al., 2016).

São comumente observadas plantas deficientes em P em todos estados produtores do país, uma vez que solos mais intemperizados como os do cerrado brasileiro requerem grandes quantidades de fertilizantes fosfatados para a correção da fertilidade. Como os teores de P disponível em solos muito intemperizados de ecossistemas naturais são baixos, diversos mecanismos são utilizados pelas plantas e organismos adaptados para aumentar a eficiência de absorção de P como o aumento da relação raiz/parte aérea, as mudanças na morfologia das raízes, o aumento de pelos radiculares e a associação com fungos micorrizos (GATIBONI, 2003).

A grande maioria do P absorvido pela planta, mais de 90%, é proveniente do transporte difusivo no solo, sendo este de crucial importância para a nutrição da planta e garantia de resposta em produtividade de grãos. O adequado fornecimento de P às plantas é favorecido por um sistema radicular bem desenvolvido, um alto teor de água no solo e uma grande diferença de concentração de P entre a solução mais próxima à superfície das raízes e a mais distante (RUIZ et al., 1988).

Sendo assim, a habilidade das plantas de absorver o P do solo irá depender da concentração dos íons em solução na superfície das raízes e da área da superfície radicular em contato com a solução (JONES & JACOBSEN, 2001). O P em concentrações adequadas na camada superficial pode não estar acessível à absorção das plantas em função da dificuldade da difusão em períodos que há falta de água nessa camada, pois é a primeira a perder água.

O crescimento do sistema radicular, também tem influência direta sobre a absorção desse elemento. De acordo com Yamada (2002) o modelo mecanístico de Barber-Cushman mostrou que a absorção de P é influenciada pela taxa de

crescimento radicular, concentração inicial na solução e diâmetro médio das raízes, sendo fundamental que haja boa taxa de crescimento durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta, proporcionando um sistema radicular amplo e profundo.

Um menor crescimento radicular provocado por condições desfavoráveis impostas pelo meio, provoca decréscimo da superfície de absorção (RUIZ et al., 1988), sendo a difusão o mecanismo predominante de transporte de P, a absorção desse elemento é dependente da superfície radicular (ALVES et al., 2002).

A suplementação de P na fase inicial do desenvolvimento das culturas é crucial na otimização da produção final, onde em estágios posteriores sua limitação demonstra-se menos relacionada à produtividade (STAUFFER & SULEWSKI, 2003; GRANT et al., 2005).

O desenvolvimento da parte aérea da planta é dependente do desenvolvimento e estabelecimento do sistema radicular. A disponibilidade de P no solo precisa ser alta no estágio inicial do desenvolvimento da planta, já que a mesma apresenta baixa capacidade de exploração do solo, garantindo assim um satisfatório desenvolvimento radicular (HANSEL, 2013). Por este motivo, o uso de fertilizantes minerais fosfatados aumentou expressivamente em todo o mundo nas últimas décadas, principalmente em solos bem intemperizados como no Brasil que apresentam grande resposta à fertilização fosfatada (VALADÃO JÚNIOR et al., 2008).

Diversos adubos fosfatados são encontrados no comércio, distinguindo-se na concentração de P e na sua solubilidade (RAIJ, 1991). As principais fontes de P utilizadas no Brasil são as fontes solúveis, tais como o superfosfato simples, superfosfato triplo e monoamônio fosfato que são fontes que proporcionam a pronta disponibilização do nutriente, aumentando rapidamente a concentração de P na solução do solo.

Em função do custo de produção das culturas proporcionado pelos fertilizantes fosfatados, torna-se fundamental o aprimoramento de técnicas que possam aumentar a eficiência do uso desses fertilizantes.

2.4. Gesso agrícola na cultura do milho

A aplicação de gesso agrícola promove favoráveis condições químicas do solo que resultam em um maior desenvolvimento do sistema radicular, acarretando em aumento na produção do milho (SHAINBERG et al., 1989).

Várias pesquisas têm apontado a aplicação de gesso agrícola associada a calagem, como uma estratégia eficiente para maximizar a produção do milho até mesmo na ausência de déficit hídrico (CAIRES et al., 2004; CAIRES et al., 2011; ZANDONÁ et al., 2015). Esses autores justificam que o aumento da produtividade da cultura do milho à gessagem relaciona-se à melhoria dos atributos químicos do solo, como o incremento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em todo o perfil, aumento nos teores de P na camada de 0-10 cm e decréscimo da saturação por Al^{3+} na camada subsuperficial.

Além do efeito positivo do gesso agrícola associado à calagem, Zandoná et al. (2015) observou incrementos de 9,3% na produtividade média do milho semeado em segunda safra com reposta até a dose de $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Diversos pesquisadores têm evidenciado o favorecimento do crescimento radicular em função das melhorias nas condições químicas das camadas mais profundas do solo com o uso do gesso agrícola (CAIRES et al., 1998; 1999; 2003; SORATTO & CRUSCIOL, 2008; ROSSETTO & SANTIAGO, 2011).

Caires et al. (1999), avaliando as alterações químicas do solo pelo uso de gesso em plantio direto nas culturas de milho, trigo e soja constataram que apenas a cultura de milho apresentou aumento de produção com o uso deste material em decorrência do fornecimento de enxofre, da melhoria do teor de cálcio trocável em todo o perfil, da redução da saturação por alumínio e do aumento da relação Ca/Mg do solo. As respostas em aumentos de produção foram relacionadas à melhoria nos teores de cálcio e/ou redução de alumínio nos subsolos envolvidos.

Nora et al. (2014) verificando a influência do gesso agrícola, combinado com calcário dolomítico, nos parâmetros químicos das camadas subsuperficiais do solo e sua relação com a produtividade do milho, observaram que o tratamento com maiores doses de gesso combinado com calcário apresentou as maiores produtividades da cultura.

2.5. Gesso agrícola associado ao fósforo

O P contido nas camadas mais profundas torna-se de fundamental importância para o suprimento desse elemento, pois possui maior conteúdo de água. No entanto, um sistema radicular bem desenvolvido e que ocupa um maior volume de solo, tem

maiores condições de absorver maior quantidade de P que antes estava indisponível para a planta (MARTINAZZO, 2006; ALVES et al., 2002).

Neste contexto, de acordo com Sarmiento et al. (2002) um método para minimizar a fixação de P é associar gesso a adubação fosfatada pois, haverá correção do perfil do solo através da neutralização do alumínio, diminuindo a fixação do P e, conseqüentemente, aumento na eficiência do adubo.

A associação do gesso com fertilizantes fosfatados ou presença desse material no superfosfato simples, além de contribuir para a solubilização do íon fosfato ligado a compostos de alumínio, favorece o desenvolvimento do sistema radicular. Ritchey et al. (1980), avaliando em um ensaio as fontes superfosfato simples e superfosfato triplo, observaram que nos tratamentos que receberam superfosfato simples, o sistema radicular estava mais profundo possibilitando uma maior absorção de água das camadas mais subsuperficiais. Além deste fato, foi observado também que o solo continha mais cálcio e menos alumínio nas camadas inferiores. Esses efeitos benéficos sobre a cultura do milho foram atribuídos ao gesso, contido no superfosfato simples.

Mesmo que em patamares relativamente baixos é comum observar teores de P como componente do gesso agrícola, entretanto poucos trabalhos na literatura têm apontado esse P como suficiente para incrementar em produção. Está certo de que incrementos nos teores de P disponível em solos onde se aplicou gesso agrícola, deve-se principalmente a neutralização do Al^{3+} pelo sulfato proveniente da dissociação do sulfato de cálcio (RAIJ, 1988; FITTIPALDI, 2006).

2.6. Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta pertencente à família Poaceae, originária da América Central, sendo cultivada em praticamente todas as regiões do mundo (MATOS et al., 2006). Devido à sua multiplicidade de aplicações, quer na alimentação humana quer na alimentação animal, assume relevante papel socioeconômico, além de constituir-se em indispensável matéria-prima agroindustrial (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

O milho é o cereal mais produzido no mundo, ficando à frente de trigo e arroz. A produção mundial concentra-se basicamente em três grandes produtores, Estados

Unidos, China e Brasil. A safra mundial de milho, para a safra 2017/2018, é esperada em torno de 1,03 bilhões de toneladas. A produção total desses países representa aproximadamente 65,62% da produção mundial de milho (USDA, 2017).

O milho se consolida como a segunda cultura mais importante para a agricultura brasileira. Os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017) demonstram que o cereal representou 45,05% de toda a produção de grãos do país na safra 2016/2017, com 97,25 milhões de toneladas produzidas.

Cultivado em diferentes sistemas produtivos, o milho está presente principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. A região Centro-Oeste, maior produtora de milho segunda safra, representou 67,62% da produção brasileira de milho na segunda safra de 2016/2017, que corresponde a 46,05 milhões do total de 67,25 milhões de toneladas. Mesmo com o atraso no plantio da soja por questões climáticas, o tamanho da área a ser semeada para o milho segunda safra 2018 é que se mantenha a mesma em relação ao ano anterior, e ainda há a expectativa de que a produtividade no estado de Goiás tenha incremento em até 2,8% (CONAB, 2017).

A cultura do milho nos últimos anos vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade. Entre essas tecnologias, destaca-se a melhoria na qualidade dos solos, geralmente relacionada ao adequado manejo, através da rotação de culturas, plantio direto e o manejo da fertilidade, com uso da calagem, gessagem; adubação equilibrada com macro e micronutrientes (COELHO, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no município de Jataí/GO, na segunda safra do ano agrícola 2015/2016, no campo experimental da Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, cujas coordenadas geográficas são 17°55'32" S e 51°42'32" O e 685 m de altitude (Figura 1).



Figura 1. Localização da área experimental. Jataí-GO, 2016. Fonte: Google Maps, 2016.

O clima predominante na região é do tipo Aw, típico das savanas com duas estações bem definidas: uma seca e frio (outono e inverno) e outra quente e úmida (primavera e verão), segundo a classificação de Köppen. Os dados meteorológicos mensurados durante o período de condução do experimento estão apresentados na Figura 2.

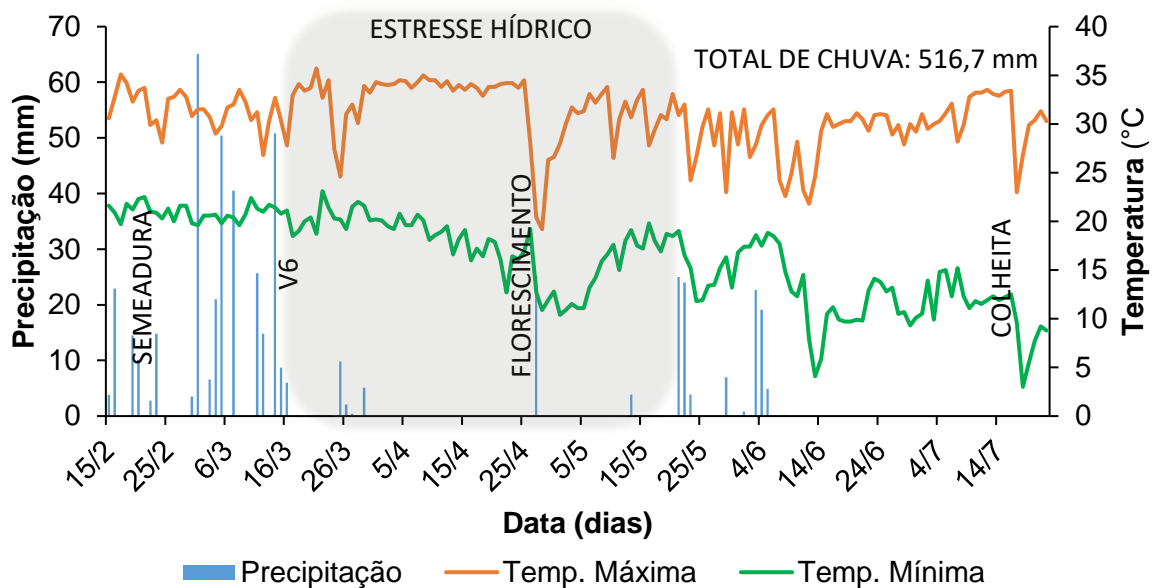


Figura 2. Precipitação pluviométrica (mm), temperaturas máxima e mínima (°C), na área experimental no período de fevereiro a julho de 2016. Fonte: INMET, 2016.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), com textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Anteriormente à instalação da pesquisa, a área vinha sendo cultivada a pelos menos 10 anos com a sucessão soja seguida de milho ou sorgo como segunda safra em sistema de semeadura direta e utilizando por vezes como a principal fonte fosfatada o superfosfato simples.

Essa pesquisa com seus tratamentos (doses de gesso e fósforo) iniciou-se na safra 2014/2015, ano único em que foi aplicado os tratamentos referentes as doses de gesso agrícola, e desde então a área vinha sendo cultivada em sequência as seguintes culturas: soja, milho segunda safra consorciado com braquiária e soja novamente. Portanto o milho semeado em segunda safra estudado nessa dissertação refere-se à quinta cultura cultivada após a aplicação dos tratamentos referentes as doses de gesso, o qual foi semeado 16 meses após a sua aplicação.

Os tratamentos referentes as doses de P_2O_5 vinham recebendo adubações para alta produtividade da cultura da soja e do milho segunda safra em suas respectivas doses (0, 50 e 100% da dose recomendada de P_2O_5).

Para a caracterização química e textural anterior á pesquisa, anteriormente a safra 2014/2015, foram coletadas 10 amostras simples de solo com ajuda de uma

sonda para compor uma amostra composta de solo nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e textural do solo, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, da área experimental antes da instalação do experimento no ano de 2014. Jataí – GO, 2018

Propriedades										
Prof.	pH	M.O.	P(mel.)	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V%
Cm	(H ₂ O)	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----						
0-20	5,7	45,2	8,5	0,16	2,26	1,37	0,10	5,1	8,9	42,6
20-40	5,8	36,1	4,3	0,13	1,75	0,95	0,07	4,3	7,1	39,9

Tabela 2. Caracterização química e textural do solo, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, das parcelas da área experimental amostrada após a colheita do milho segunda safra em 2015, Jataí-GO, 2018

Camada	Gesso	pH H ₂ O	H ⁺ +Al ³⁺	Cátion trocável				P (Mehlich-1)	
				Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺		
cm	Mg ha ⁻¹	-----cmol _c /dm ³ -----						mg dm ⁻³	
0-20	0	6,08	6,79	0,03	3,28	1,55	0,15	16,18	
	1	6,23	6,10	0,03	3,86	1,53	0,14	14,00	
	2	6,02	6,50	0,03	3,84	0,96	0,11	15,59	
	4	5,93	6,67	0,03	4,29	0,65	0,11	18,83	
	8	5,89	6,26	0,01	4,95	0,42	0,13	20,19	
20-40	0	5,60	6,86	0,06	1,86	0,76	0,10	4,04	
	1	5,68	6,39	0,02	2,14	0,77	0,10	3,59	
	2	5,58	6,41	0,04	2,11	0,68	0,08	3,35	
	4	5,52	6,53	0,02	2,62	0,58	0,07	4,73	
	8	5,50	6,33	0,03	3,54	0,35	0,08	5,79	
		Areia	Silte	Argila					
		----- g dm ⁻³ -----							
		585	240	175					

Modificado de Soares (2016).

Como se trata de um experimento em que os efeitos dos tratamentos foram avaliados ao longo do tempo desde o início da safra do ano agrícola 2014/2015 e que as análises para a caracterização química do solo são realizadas sempre após a colheita do milho segunda safra a caracterização química do solo referente as análises

realizadas após a colheita do milho segunda safra do ano de 2015 também foram apresetadas na tabela 2 para melhor explicação dos dados.

Os valores dos componentes químicos da tabela 2 estão apresentados por parcela em função das alterações químicas ocorridas no solo após a primeira aplicação dos tratamentos (doses de gesso e fósforo). Como os teores de P no solo não apresentaram resposta após o primeiro ano de aplicação dos tratamentos (ano anterior a este experimento), levam-se em conta a média dos valores referentes de P (Mehlich-1) dos tratamentos que receberam diferentes doses de P_2O_5 (Tabela 2).

3.2. Tratamento e delineamento experimental

O delineamento experimental foi constituído de 15 tratamentos estabelecidos em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 3, com quatro repetições, tendo a área de cada parcela 11,25 m² (2,25 x 5 m) (Figura 3). O primeiro fator correspondeu às doses de gesso (0, 1, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹), sendo que essas doses representam 0, 34, 68, 136 e 273% da dose recomendada de acordo com Sousa & Lobato (2004). O segundo fator correspondeu às doses de fósforo (0, 40 e 80 kg ha⁻¹ de P_2O_5) que representando 0, 50 e 100% da dose recomendada).

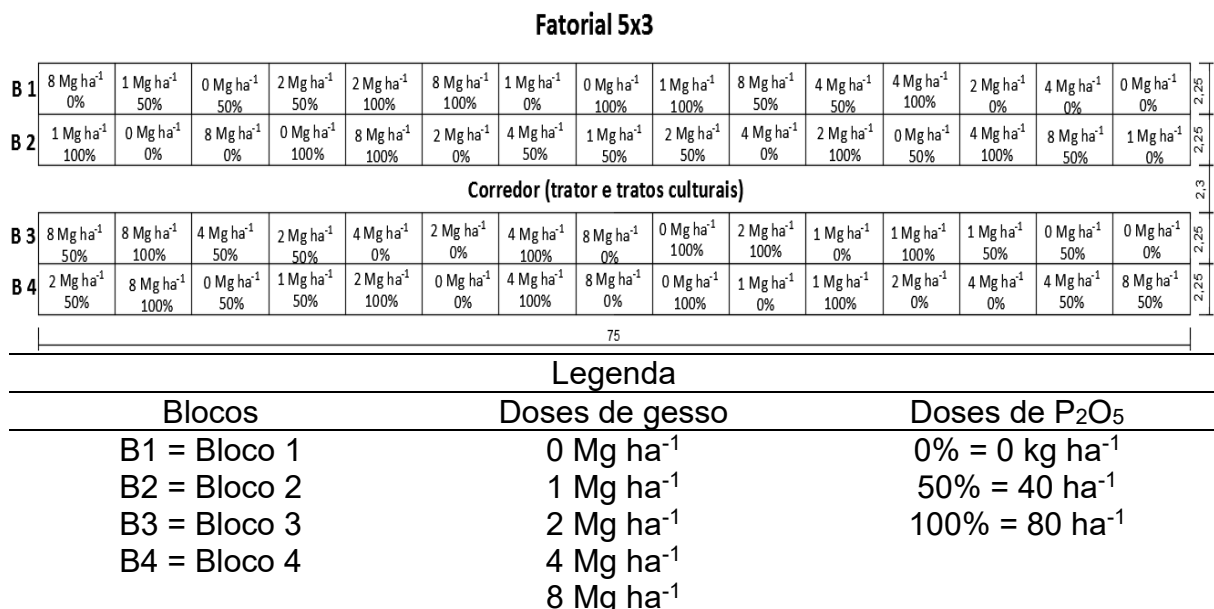


Figura 3. Croqui do experimento. Jataí-GO, 2018

3.3. Instalação e condução do experimento

Foi realizada a correção do solo com aplicação de 3,0 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 85%), distribuído por gravidade sem incorporação 3 meses antes da implantação da cultura da soja do ano agrícola 2014/2015. O gesso foi aplicado uma única vez na área 30 dias após o calcário nas respectivas doses de cada tratamento e desde então a área vem sendo cultivada todos os anos em sucessão de soja e milho consorciado com braquiária, avaliando-se a partir do primeiro ano de condução, apenas o efeito residual do gesso aplicado em associação a adubação fosfatada, sendo esta última realizada no momento da semeadura de cada cultura em todos os anos agrícolas. A caracterização química do gesso utilizado nesta pesquisa encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Composição química e umidade do gesso agrícola utilizado no experimento. Jataí-GO, 2018

Características do Gesso (%)	Ca	S	Umidade total	Umidade (65°)	P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn
	23,56	18,64	25,22	21,74	0,67	0,014	0,25	0,012	0,005

As doses recomendadas de N, P e K para alta produtividade da cultura do milho foram 150 kg ha⁻¹ de N e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O. As fontes utilizadas foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. O P₂O₅ foi distribuído no momento da semeadura no sulco de plantio nas doses referentes a cada tratamento e é importante destacar que para as culturas anteriores ao milho segunda safra 2016 foram utilizadas as mesmas doses de P₂O₅. O N e o K foram distribuídos manualmente a lanço em cada parcela. Para o N, as doses de ureia aplicadas foram 30 kg ha⁻¹ no momento da semeadura e 120 kg ha⁻¹ quando a cultura se encontrava no estágio V3-V4. A primeira e a segunda aplicações de K₂O foram realizadas aos 15 e 25 dias após a semeadura, com doses de 60 e 20 kg ha⁻¹ de K₂O respectivamente.

A semeadura do milho Híbrido AG-8677 PRO 2 de ciclo precoce (138 dias), foi realizada no dia 23 de fevereiro de 2016, utilizando semeadora de 5 linhas de tração tratorizada, distribuindo-se 2,8 sementes por metro. Cada parcela foi composta por 5 linhas de 5 metros, sendo a área útil as 3 linhas centrais excluído 0,50 m de cada extremidade. As sementes de milho foram tratadas industrialmente com Deltametrina.

Objetivando o controle de plantas invasoras, realizou-se a aplicação de atrazine com a dose 1,5 kg ha⁻¹ de produto comercial e glifosate 1,5 L ha⁻¹ de produto comercial

no estágio V3-V4. Para controle de *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho) foram feitas duas aplicações com os produtos Bulldock® 125 SC (BETA-CIFLUTRINA) e Connect® (IMIDACLOPRIDO e BETA-CIFLUTRINA), com as doses 0,1 L ha⁻¹ e 0,75 L ha⁻¹ respectivamente.

O manejo de plantas daninhas foi realizado com uma aplicação em pós-emergência de 2,5 L de glifosate e 1,5 kg de atrazine ha⁻¹ para o controle de soja tiguera. Para o manejo de doenças foi realizado duas aplicações preventivas de fungicidas com o produto Approach Prima (0,3 L ha⁻¹). O controle de pragas foi realizado com aplicações de inseticidas com base no nível de controle das pragas infestantes na área com a utilização dos produtos Bulldock 125 SC (0,1 L ha⁻¹) e Connect (0,75 L ha⁻¹).

Por ocasião da inflorescência feminina (embonecamento), foram coletadas 5 folhas por parcela, oposta e abaixo da primeira espiga, excluída a nervura central, para determinação dos teores foliares de macro e micronutrientes de acordo com Martinez et al. (1999). As folhas permaneceram em estufa a 60 °C até peso constante. Em seguida, as folhas secas foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos e Tecido Vegetal da Universidade Estadual Paulista (UNESP) “Júlio de Mesquita Filho” Campus Ilha Solteira para determinação dos teores de macro e micronutrientes de acordo com metodologia descrita por Malavolta et al., 1997.

Amostras de raízes foram coletadas antes da colheita do milho, onde coletou-se três pontos de amostras de solo, distribuídos aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela no meio das entrelinhas, ou seja, a 22,5 cm de distância das linhas de plantio, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Para esta operação utilizou-se de uma sonda a qual é capaz de coletar um volume de 0,922 litros de solo a cada 20 cm de profundidade. Após a coleta, com o auxílio de uma peneira e água corrente, realizou-se a separação do solo e raízes presentes na amostra.

Posteriormente a separação, as amostras de raízes coletadas foram deixadas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C até que o material vegetal apresentasse massa constante, para serem pesadas para quantificação da massa de raízes secas em cada parcela. Posteriormente os valores da massa de raízes secas obtidas foram corrigidos para um volume padrão de 1,0 dm⁻³ de amostra de solo inicial.

Por ocasião da colheita (13/07/2016) foram colhidas manualmente as espigas presentes na área útil de cada parcela e armazenadas em sacos com a identificação

de suas respectivas parcelas. Separou-se de forma aleatória 10 espigas em cada parcela, para determinação da massa seca de espiga, número de fileiras de grãos por espigas, comprimento de espigas, diâmetro de espigas e diâmetro de sabugos, e através da subtração dos últimos dois parâmetros citados e divisão do resultado por dois, obteve o comprimento médio de grãos.

Em seguida estas espigas juntamente com as demais foram debulhadas para separação dos grãos, onde obteve suas massas quantificadas para cálculo da produtividade de grãos por parcela, a qual foi transformada posteriormente em kg ha⁻¹ de grãos, com umidade corrigida para 13%. Para a determinação da massa de mil grãos, a umidade foi corrigida para 13% e determinada de acordo com a metodologia descrita em Brasil (2009).

As amostras de solo para a análise química do solo foram coletadas após a colheita do milho, em três pontos distribuídos aleatoriamente na área útil de cada parcela, coletadas no meio das entrelinhas, ou seja a 22,5 cm de distância das linhas de plantio, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, por meio da mesma sonda utilizada para a coleta das amostras de raízes. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório Exata em Jataí-GO, onde foram preparadas para comporem amostras de terra fina seca ao ar, para posterior análise dos teores de Ca, Mg, K, P, e S do solo, de acordo com a metodologia de análises descrita em Embrapa (2011).

3.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% e/ou 1% de probabilidade pelo teste F, sendo as médias dos dados referentes às doses de P quando significativas ao teste F, foram comparadas pelo teste de Tukey, por apresentarem apenas três níveis. Por apresentar mais de três níveis os dados referentes ao tratamento doses de gesso quando significativas ao teste F, foram submetidos à análise de regressão calculada para equações lineares e quadráticas e aceitas quando significativas até 5% de probabilidade pelo teste F. Para isso, foi utilizado o programa estatístico Assistat 7.7.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. A análise química do solo

O resumo da análise de variância (Teste F) para os teores de Ca^{2+} nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm se encontram na Tabela 4. Verifica-se que não houve significância do fator doses de fósforo para nenhuma das camadas avaliadas.

Tabela 4. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para os teores de Ca^{2+} no solo, nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, após a cultura do milho. Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Bloco	0,12 ^{ns}	2,58 ^{ns}	3,34 ^{ns}
Gesso (G)	125,68 ⁻⁻	35,68 ⁻⁻	22,20 ⁻⁻
Fósforo (P)	2,01 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,01 ^{ns}
G x P	8,83 ^{**}	1,63 ^{ns}	0,95 ^{ns}
Regressão Polinomial			
Reg. Linear	330,38 ^{**}	137,20 ^{**}	82,64 ^{**}
Reg. Quadrática	104,96 ^{**}	3,43 ^{ns}	2,16 ^{ns}

-- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Houve interação entre doses de gesso e fósforo apenas para a camada de 0-20 cm (Tabela 4). Ao desdobrar a interação (Tabela 5) e analisar as doses de gesso dentro de cada dose de P_2O_5 (0, 40 e 80 kg ha^{-1}), observa-se ajuste para equação quadrática para todas as doses de fósforo estudadas (Figura 4).

Após derivar as equações, obteve-se o maior teor de Ca^{2+} no solo nos tratamentos em que não receberam adubação fosfatada na dose equivalente a 5,20 Mg ha^{-1} de gesso (Figura 4). Para as doses de 40 e 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 os máximos teores de Ca^{2+} foram obtidos nas doses de gesso equivalentes a 5,42 e 4,55 Mg ha^{-1} , respectivamente (Figura 4).

Ainda na Tabela 5, pode-se observar que com o aumento das doses de gesso (4 e 8 Mg ha^{-1}) houve redução dos teores de Ca^{2+} disponível em função do uso de P_2O_5 , comportamento contrário ao que foi observado na ausência de gessagem, onde houve um aumento do teor de Ca^{2+} quando se fez uso de adubação fosfatada.

Tabela 5. Desdobramento da interação entre gesso e fósforo para o teor de cálcio ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) no solo da camada de 0-20 cm, após a cultura do milho. Jataí-GO, 2018

Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Doses de gesso (Mg ha^{-1})				
	0	1	2	4	8
	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$				
0	2,71 b	3,80 a	3,83 a	5,30 a	4,45 a
40	3,12 a	3,84 a	3,94 a	4,56 b	4,31 a
80	3,09 a	3,91 a	4,13 a	4,53 b	3,80 b
CV %	4,33				

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo. * significativo a 5% pelo teste F. L = equação linear. Q = equação quadrática.

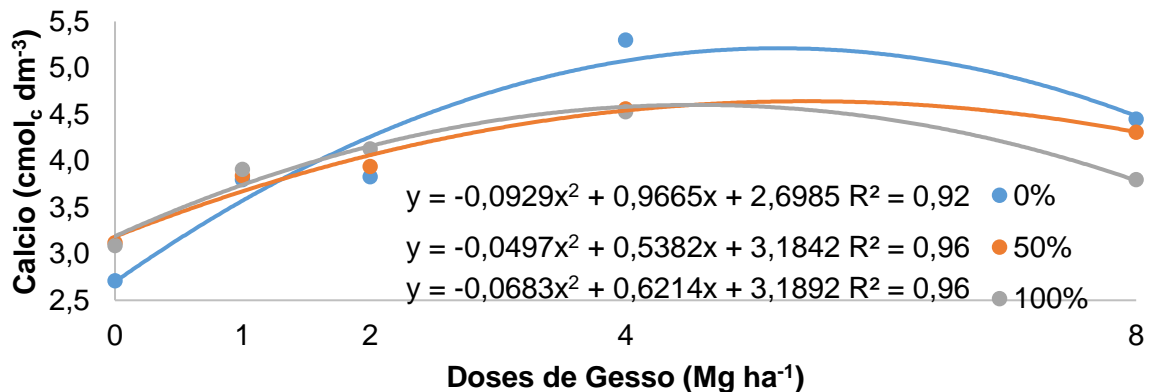


Figura 4. Teor de Ca do solo em função das doses de gesso estudadas na camada de 0-20 cm. 0% = ausência de adubação fosfatada. 50% = 50% da dose recomendada para a cultura (40 kg ha^{-1}). 100% = 100% da dose recomendada para a cultura (80 kg ha^{-1}). Jataí-GO, 2018

O aumento dos teores de cálcio em função das doses de P_2O_5 no tratamento sem utilização de gesso (Tabela 5), é explicado pelo Ca^{2+} presente na fonte de P utilizada neste experimento, que se trata do superfosfato triplo, o qual contém aproximadamente 14% de Ca^{2+} (SOUSA, et al. 2005).

Já o comportamento inverso dos teores de Ca^{2+} no solo em função do aumento das doses de P_2O_5 ocorrido nos tratamentos que receberam as maiores doses de gesso (4 e 8 Mg ha^{-1}) (Tabela 5), pode ser explicado pela formação de fosfato tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Essa idéia fica reforçada ao analisar na figura 4 os teores de Ca^{2+} no solo sob o efeito das doses de 4 e 8 Mg ha^{-1} de gesso, onde verifica-se redução de Ca^{2+} a partir dos teores máximos obtidos das equações.

Avaliando os teores de Ca^{2+} disponível nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, observa-se que as médias, melhor se ajustaram a equação de regressão linear positiva (Tabela 4), ou seja, aumentaram os teores de Ca^{2+} no solo em função das crescentes doses de gesso (Figura 5).

Os efeitos químicos da lixiviação de cálcio no perfil do solo em relação às doses de gesso foram similares aos observados pelos pesquisadores Ernani & Barber (1993); Ernani et al. (2001); Caires et al. (2001; 2002; 2004); Amaral et al. (2017), onde verificaram que houve aumento da movimentação do cálcio trocável no perfil do solo com aplicação de gesso agrícola.

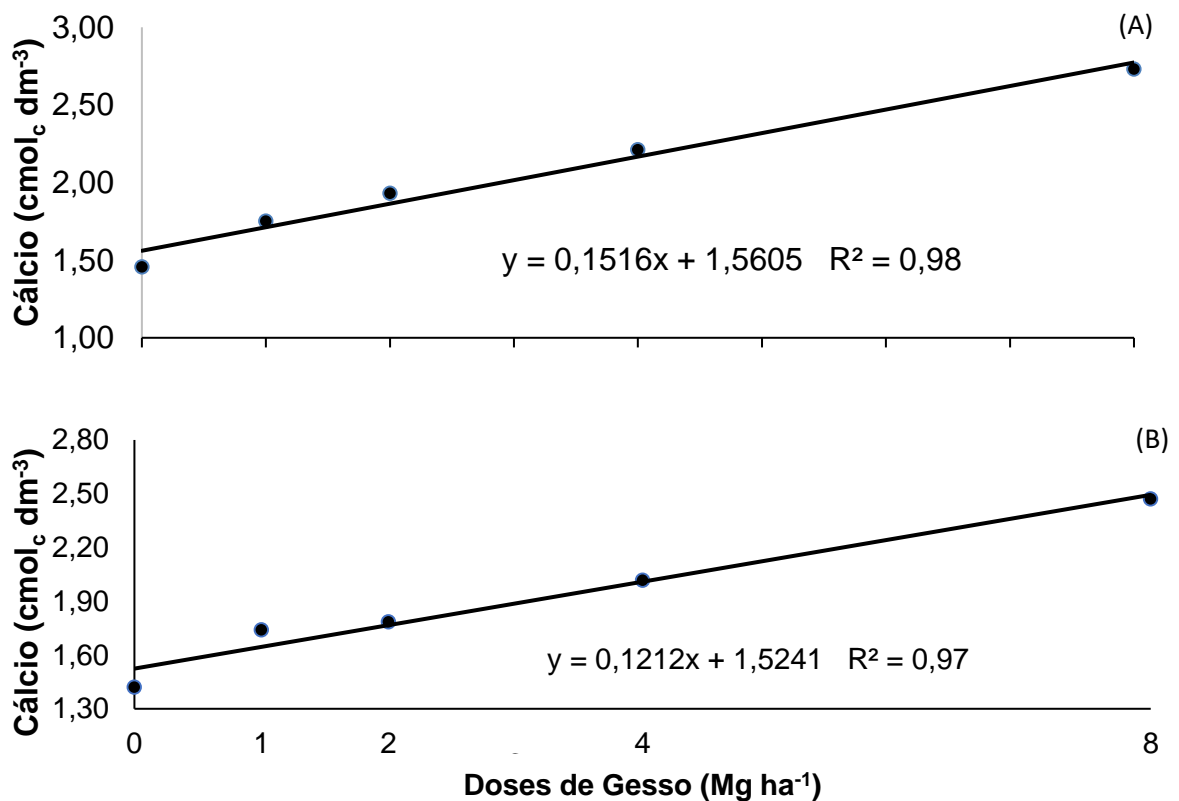


Figura 5. Teor de Ca^{2+} no solo em função das doses gesso nas camadas: (A) 20-40 cm; (B) 40-60 cm. Jataí-GO, 2018

A dose de gesso que promove maior lixiviação de nutrientes é variável entre os solos podendo ocorrer em doses de 2,8 a 10,8 Mg ha⁻¹ de gesso devido as diferenças de energia da ligação dos cátions no solo, de acordo com o tipo de nutriente para formar uma ligação pareada com o sulfato e pela quantidade/intensidade do nutriente (MANETTI, 2005).

O resumo da análise de variância (Teste F) para os teores de magnésio no solo,

nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm coletados após a colheita do milho, encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para os teores de magnésio no solo, nas camadas 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Bloco	2,37 ^{ns}	3,06 ^{**}	5,40 [*]
Gesso (G)	3315,00 ⁻⁻	50,31 ⁻⁻	23,72 ⁻⁻
Fósforo (P)	355,28 ^{**}	1,03 ^{ns}	0,60 ^{ns}
G x P	79,85 ^{**}	2,29 ^{ns}	0,93 ^{ns}
Regressão Polinomial			
Reg. Linear	1151,45 ^{**}	139,35 ^{**}	52,74 ^{**}
Reg. Quadrática	26,99 ^{**}	40,83 ^{**}	31,03 ^{**}

-- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Verifica-se que houve interação entre doses de gesso e fósforo apenas para a camada de 0-20 cm (Tabela 6). Ao desdobrar a interação verificou-se que os teores de Mg^{2+} no solo reduziram em função das maiores doses de gesso e de fósforo, ajustando-se às equações de regressão lineares negativas (Tabela 7 e Figuras 6, 7A e 7B).

Tabela 7. Desdobramento da interação entre gesso e fósforo para o teor de Mg^{2+} ($cmol_c dm^{-3}$) no solo da camada de 0-20 cm. Jataí-GO, 2018

Doses de P_2O_5 ($kg ha^{-1}$)	Doses de gesso ($Mg ha^{-1}$)				
	0	1	2	4	8
	$cmol_c dm^{-3}$				
0	1,57 a	1,71 a	1,35 a	0,86 a	0,81 a
40	1,59 a	1,61 ab	0,91 b	0,83 a	0,77 b
80	1,48 b	1,48 b	0,85 c	0,77 b	0,72 c
CV %	1,79				

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução do Mg^{2+} em função do aumento das doses de P_2O_5 observada na Figura 6, pode ser explicada pela presença do Ca^{2+} no superfosfato triplo. Sabe-se que com o aumento dos teores de Ca^{2+} no solo há uma redução natural dos teores de

Mg^{2+} em função da competição dos mesmos pelas cargas negativas do solo onde Ca^{2+} tem prioridade em relação ao Mg^{2+} (MEDEIROS et al., 2008).

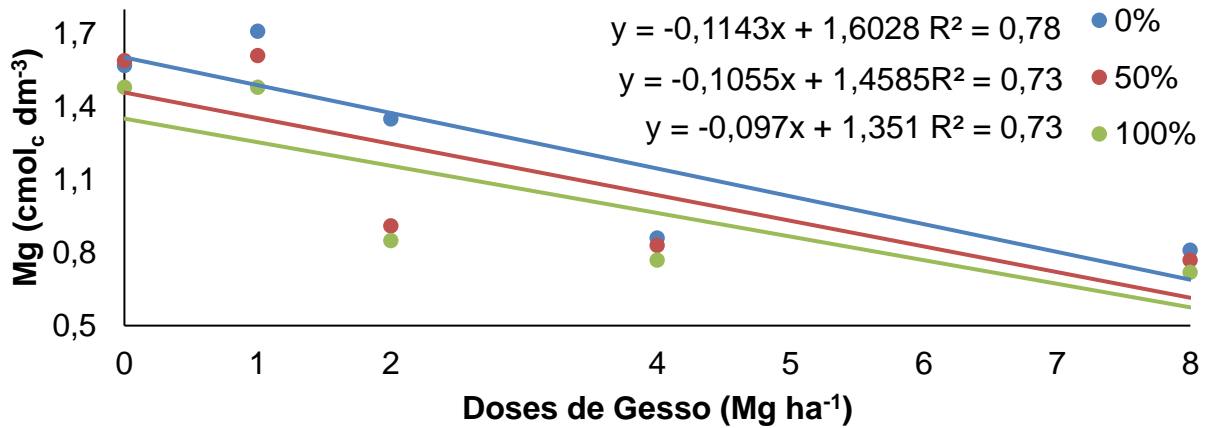


Figura 6. Teor de Mg^{2+} do solo em função das doses gesso na camada de 0-20 cm. 0% = ausência de adubação fosfatada. 50% = 50% da dose recomendada para a cultura ($40 kg ha^{-1}$). 100% = 100% da dose recomendada para a cultura ($80 kg ha^{-1}$). Jataí-GO, 2018

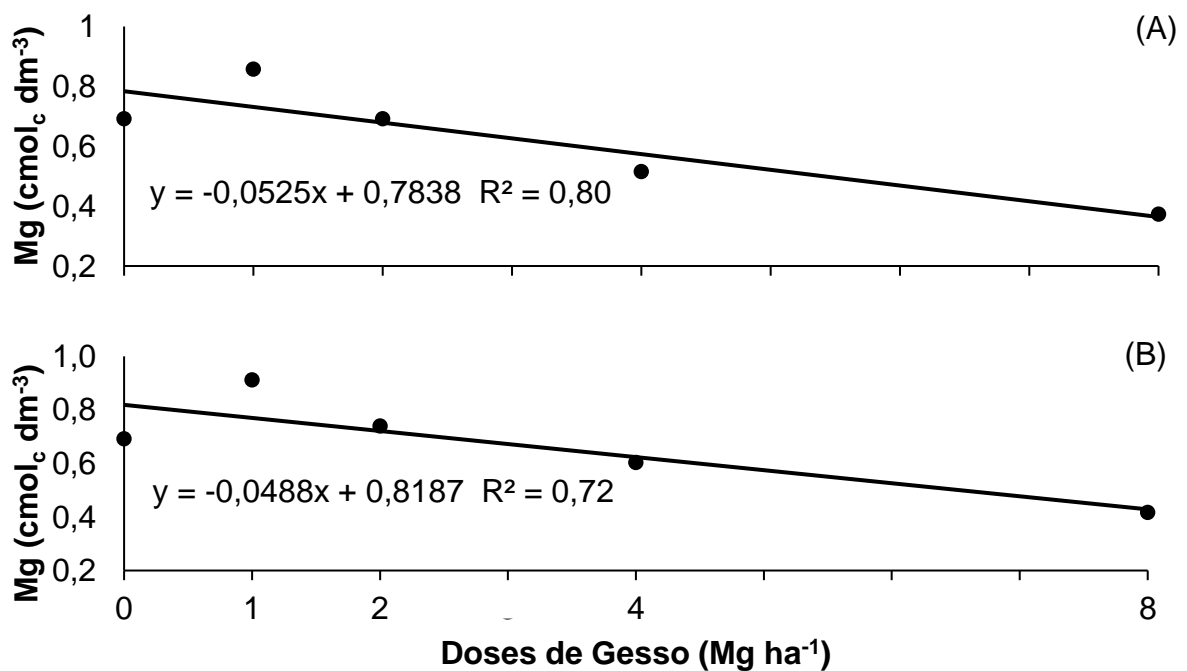


Figura 7. Teor de Mg do solo em função das doses gesso nas camadas: 20-40 cm (A) e 40-60 cm (B). Jataí-GO, 2018

Para as camadas 20-40 e 40-60 cm verifica-se que as médias ajustaram-se a equação de regressão linear, ou seja, os teores de Mg^{2+} reduziram em função das crescentes

doses de gesso agrícola (Figuras 7A e 7B). No entanto não houve acúmulo dos teores de Mg^{2+} na camada de 40–60 cm, o qual pode ter sido carregado para camadas além das camadas estudadas.

Mesmo observando redução dos teores de Mg^{2+} nas camadas 20-40 e 40-60 cm em função das doses de gesso, houve aumento dos teores do nutriente em relação ao ano anterior (Tabela 2).

Assim como neste trabalho, Zambrosi et al. (2007) e Soares (2016) verificaram que ocorreu lixiviação do Mg^{2+} com a utilização do gesso agrícola, pois o Ca^{2+} presente substituiu o Mg^{2+} nas cargas negativas do solo, e a presença do sulfato forma pares iônicos com o Mg^{2+} e favorece a lixiviação desse cátion na forma de $MgSO_4$.

O resumo da análise de variância (Teste F) para os teores de potássio do solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 coletados após a colheita do milho, encontra-se na Tabela 8. Não houve interação entre os fatores estudados para nenhuma camada avaliada.

Tabela 8. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para os teores de K no solo, nas camadas 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Bloco	0,77 ^{ns}	23,50 ^{**}	3,74 [*]
Gesso (G)	394,20 ⁻⁻	5,02 ⁻⁻	10,43 ⁻⁻
Fósforo (P)	1,96 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,64 ^{ns}
G x P	1,63 ^{ns}	2,10 ^{ns}	1,95 ^{ns}
Regressão Polinomial			
Reg. Linear	560,77 ^{**}	6,38 [*]	23,46 ^{**}
Reg. Quadrática	517,29 ^{**}	2,77 ^{ns}	5,66 ^{ns}

-- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 = p < 0,05$). ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Para as camadas 20-40 e 40-60 cm, o ajuste das regressões se deu por meio de coeficientes de determinação (R^2) muito abaixo do ideal. Sendo assim foi considerado apenas o ajuste quadrático para os teores de K^+ em função das doses de gesso na camada de 0-20 cm (Figura 8).

Para a camadas 0-20 cm, observa-se que as médias dos teores K^+ no solo ajustaram á equações de regressão lineares a 1% de probabilidade (Tabela 8).

Observa-se também, que os teores de K^+ nas respectivas camadas, reduziram conforme os incrementos nas doses de gesso

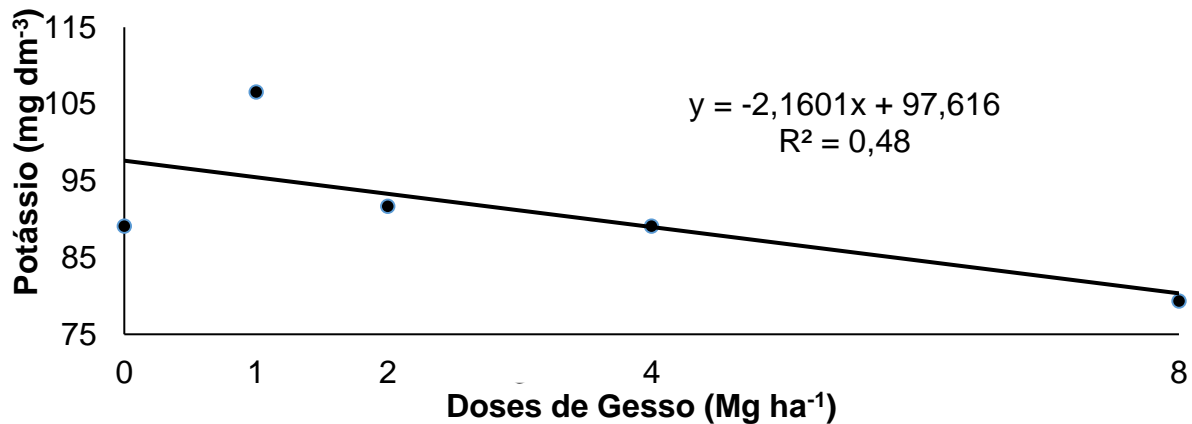


Figura 8. Teor de K do solo em função das doses gesso na camada 0-20 cm. Jataí-GO, 2018

O Ca^{2+} presente no gesso na forma de sulfato de cálcio pode deslocar o K^+ de seus sítios nas argilas do solo após sua dissociação e este ser lixiviado pela água de irrigação ou de precipitação pluvial (SERAFIM et al., 2012). Outro fator determinante na lixiviação de K^+ é o poder tampão do solo, relação entre o K^+ trocável e o K^+ em solução. Prezotti & Defilipo (1987) afirmam que o poder tampão de K^+ em solos altamente intemperizados é considerado baixo, o que pode justificar o comportamento do K^+ no solo estudado.

O resumo da análise de variância (Teste F) para os teores de P no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm coletados após a colheita do milho, encontra-se na Tabela 9. Observa-se que houve interação entre as doses de gesso e fósforo apenas na camada de 0-20 cm.

Ao desdobrar a interação e analisar as doses de gesso (0, 1, 2, 4 e 8 Mg ha⁻¹) dentro de cada dose de P_2O_5 (0, 40 e 80 kg ha⁻¹) para teores de P no solo, observa-se ajuste para equação linear positiva na dose de 50 kg ha⁻¹ e quadrática nas doses 0 e 80 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Tabela 10). Após derivar as equações quadráticas obteve-se o maior teor de P_2O_5 no solo nas doses 7,09 e 4,22 Mg ha⁻¹ de gesso, respectivamente para as doses de 0 e 80 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e para estas doses os valores correspondentes de P foram de 19,24 e 10,92 mg dm⁻³, respectivamente (Figura 9).

Resultados semelhantes foram encontrados por Vital et al. (2005), que avaliando o comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado

com gesso e fósforo, observaram aumento dos teores de P no solo em função da aplicação de doses de gesso em até 200% da necessidade de gessagem recomendada.

Tabela 9. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para os teores de P no solo, nas camadas 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Bloco	1,86 ^{ns}	4,53 [*]	13,47 ^{**}
Gesso (G)	66,96 ⁻⁻	4,15 ⁻⁻	3,75 ⁻⁻
Fósforo (P)	470,15 ^{**}	9,95 ^{**}	8,26 ^{**}
G x P	30,30 ^{**}	1,23 ^{ns}	2,06 ^{ns}
Regressão Polinomial			
Reg. Linear	234,14 ^{**}	8,97 ^{**}	0,23 ^{ns}
Reg. Quadrática	8,47 ^{**}	0,23 ^{ns}	7,81 ^{**}

-- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$).

Ao analisar os teores de P no solo, na camada de 0-20 cm, em função das doses de P_2O_5 em todas as doses de gesso aplicada (Tabela 10), nota-se de maneira geral, um aumento nos teores de P no solo com as crescentes doses de P_2O_5 .

Tabela 10. Desdobramento da interação entre gesso e fósforo para o teor de P no solo ($mg\ dm^{-3}$) da camada de 0-20 cm. Jataí-GO, 2018

Doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$)	Doses de gesso ($Mg\ ha^{-1}$)				
	0	1	2	4	8
	$mg\ dm^{-3}$				
0	6,79 b	9,28 b	9,58 b	10,86 c	7,87 c
40	12,55 a	12,87 a	13,44 a	13,48 b	14,50 b
80	12,28 a	11,89 a	14,49 a	18,73 a	18,90 a
CV %	4,68				

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

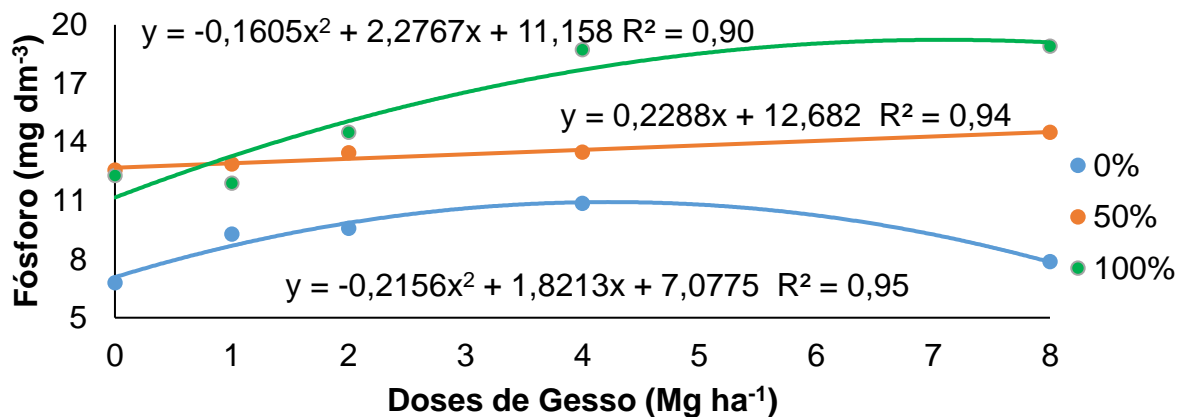


Figura 9. Teor de P do solo em função das doses gesso na camada de 0-20 cm. 0% = ausência de adubação fosfatada. 50% = 50% da dose recomendada para a cultura (40 kg ha⁻¹). 100% = 100% da dose recomendada para a cultura (80 kg ha⁻¹). Jataí-GO, 2018

Avaliando isoladamente a fonte de variação fósforo (P) para os teores de P no solo nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, observa-se que os teores deste nutriente responderam positivamente em função das crescentes doses de fósforo (Tabela 11).

É importante destacar que mesmo havendo incrementos nos teores de P no solo nas camadas de 20-40 e 40-60 cm em função da adubação fosfatada, os mesmos permaneceram em níveis muito baixo no solo segundo as tabelas de interpretação da análise de solo (SOUSA & LOBATO, 2004). Diferentemente do que ocorreu na camada de 0-20 cm, na qual os teores de fósforo apresentaram-se em níveis adequado para a dose de 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e alto para 40 e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 10).

Tabela 11. Média do teor de fósforo do solo, avaliando-se isoladamente as doses de fósforo, nas camadas: 20-40 e 40-60 cm. Jataí-GO, 2018

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	20-40 cm	40-60 cm
	P ₂ O ₅ (mg dm ⁻³)	P ₂ O ₅ (mg dm ⁻³)
0	2,04 b	1,86 b
40	2,64 a	2,32 ab
80	2,95 a	2,68 a
CV%	22,38	24,07

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redistribuição de P no perfil de solo em sistema de plantio direto tem sido relatada, e sua ocorrência é atribuída à liberação de ácidos orgânicos, complexação

do Al^{3+} trocável e decomposição das raízes no solo (CORRÊA et al., 2004; PAVINATO & ROSOLEM, 2008; LEITE et al., 2016).

Na Tabela 12 encontra-se o resumo da análise de variância (Teste F) dos teores de enxofre do solo. Pode-se observar que houve interação significativa entre os tratamentos apenas nos primeiros 20 cm de solo.

Tabela 12. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para os teores de S no solo, nas camadas 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Bloco	0,08 ^{ns}	0,92 ^{ns}	24,61 ^{**}
Gesso (G)	919,52 ⁻⁻	152,30 ⁻⁻	151,00 ⁻⁻
Fósforo (P)	0,78 ^{ns}	1,96 ^{ns}	1,32 ^{ns}
G x P	5,81 ^{**}	4,49 ^{ns}	1,90 ^{ns}
Regressão Polinomial			
Reg. Linear	2780,71 ^{**}	597,93 ^{**}	596,80 ^{**}
Reg. Quadrática	641,77 ^{**}	0,01 ^{ns}	2,50 ^{ns}

-- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Ao desdobrar a interação, verificou-se que os teores de enxofre no solo aumentaram em função das crescentes doses de gesso e de fósforo (Tabela 13 e Figura 10). Quando se aplicou fósforo na ausência de gesso ou na dose de 1 Mg ha^{-1} de gesso, o teor de enxofre no solo aumentou (Tabela 13), pois, o fosfato compete pelo mesmo sítio de adsorção no solo com o sulfato, então o fósforo ocupa as cargas liberando enxofre para a solução do solo (CASAGRANDE et al., 2003).

Tabela 13. Desdobramento da interação entre gesso e fósforo para o teor de S no solo (mg/dm^3) da camada de 0-20 cm, após a cultura do milho. Jataí-GO, 2018

Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Doses de gesso (Mg ha^{-1})				
	0	1	2	4	8
	mg/dm^3				
0	12,62 b	14,45 b	19,06 a	21,60 a	42,01 a
40	12,45 b	15,50 ab	20,33 a	22,00 a	40,13 a
80	16,27 a	17,15 a	18,61 a	20,13 a	40,01 a
CV %	4,80				

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de

Tukey a 5% de probabilidade

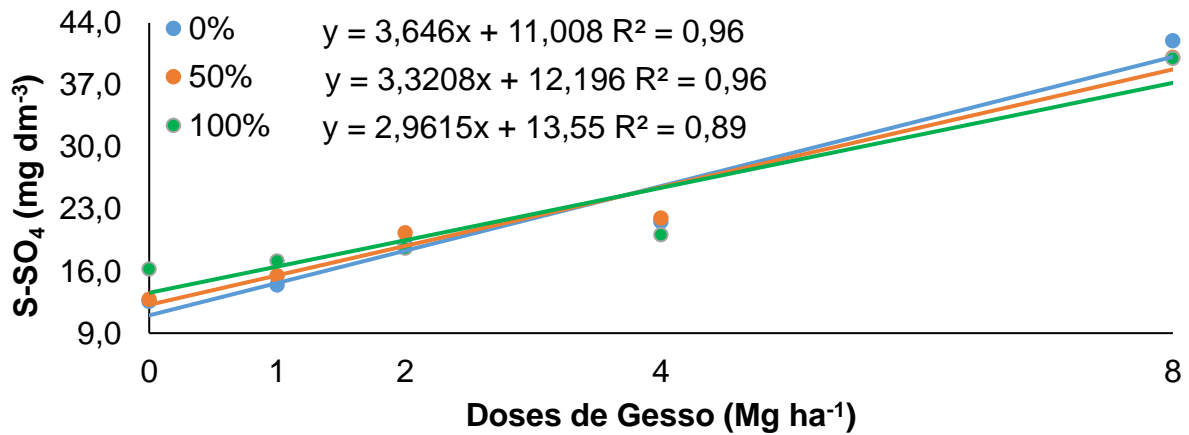


Figura 10. Teor de S-SO₄ do solo em função das doses gesso na camada de 0-20 cm. 0% = ausência de adubação fosfatada. 50% = 50% da dose recomendada para a cultura (40 kg ha⁻¹). 100% = 100% da dose recomendada para a cultura (80 kg ha⁻¹). Jataí-GO, 2018

Para as camadas mais subsuperficiais de 20-40 e 40-60 cm, observa-se que as médias dos teores de S-SO₄ no solo ajustaram às equações de regressão lineares a 1% de probabilidade em função dos crescentes doses de gesso se (Tabela 12). Observa-se também, que os teores de enxofre nas respectivas camadas, aumentaram conforme os incrementos nas doses de gesso (Figuras 11A e 11B).

O aumento dos teores de S da camada de 0-20 cm até a camada mais profunda avaliada (40-60 cm) em função das doses de gesso é explicado pela presença desse elemento na composição do gesso agrícola (Tabela 3) e pela alta solubilidade e fácil movimentação no perfil do solo por este condicionador (ROSSETTO & SANTIAGO, 2011).

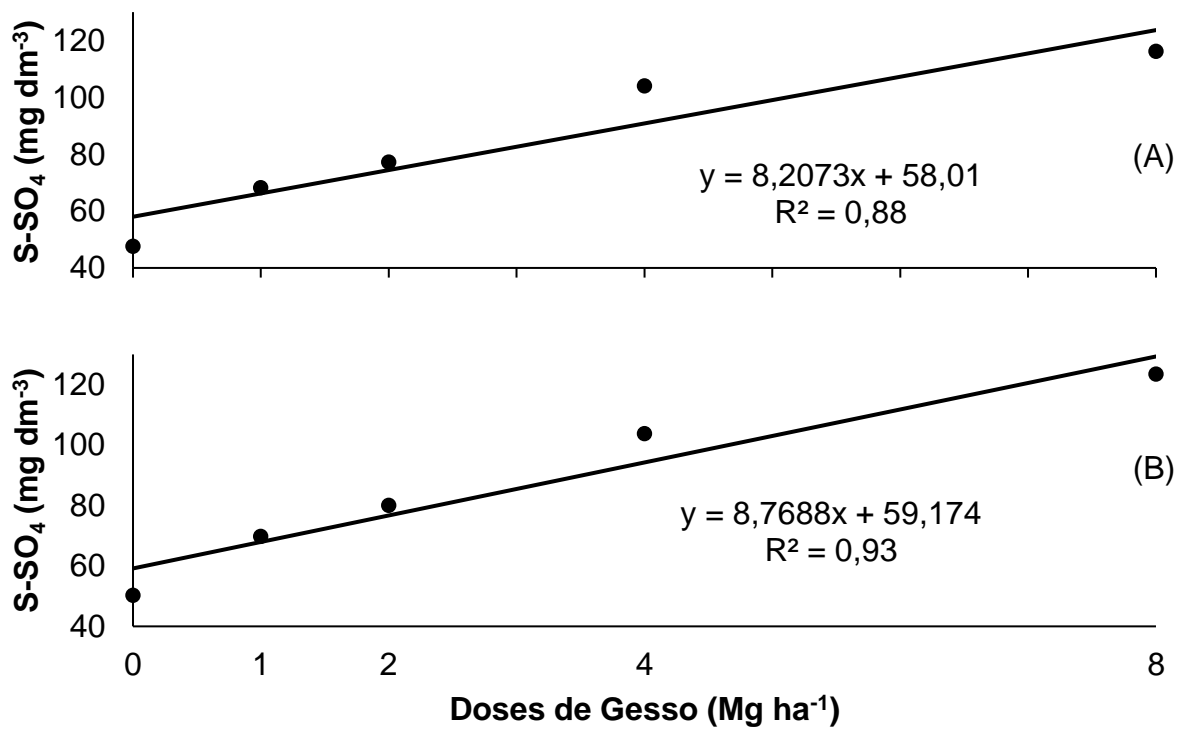


Figura 11. Teor de S do solo em função das doses gesso nas camadas: A) 20-40 cm; B) 40-60 cm. Jataí – GO, 2018

4.2. Análise química foliar

O resumo da análise de variância (Teste F) para os teores foliares dos macronutrientes no híbrido de milho estudado, encontra-se na Tabela 14. Observa-se que não houve interação entre os fatores estudados para nenhum dos teores foliares de macronutrientes estudados.

Resultados semelhantes foram observados por Soares (2016) e Caires et al. (2003), que verificaram aumento linear nas concentrações de Ca²⁺ no tecido foliar da soja, com as doses de gesso aplicadas, e por Caires et al. (2011), que observaram efeito positivo da gessagem sobre o teor foliar de Ca²⁺ no milho.

Houve efeito significativo apenas para a fonte de variação doses de gesso para os teores foliares de Ca²⁺ e Mg²⁺ (Tabela 14). As médias dos teores foliares de Ca²⁺ ajustaram-se a equação de regressão linear positiva em função das crescentes doses de gesso (Figura 12).

Tabela 14. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para os teores foliares de macronutrientes no milho. Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	0,72 ^{ns}	8,28 ^{**}	5,23 [*]	1,44 ^{ns}	2,16 ^{ns}	2,16 ^{ns}
Gesso (G)	1,07 ⁻⁻	0,68 ⁻⁻	1,28 ⁻⁻	4,59 ⁻⁻	2,05 ⁻⁻	0,99 ⁻⁻
Fósforo (P)	0,04 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,08 ^{ns}
G x P	0,79 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Regressão Polinomial						
Reg. Linear	1,02 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,68 ^{ns}	12,00 ^{**}	2,92 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Reg. Quadrática	0,01 ^{ns}	1,99 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1,74 ^{ns}	5,18 [*]	2,36 ^{ns}

-- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$).

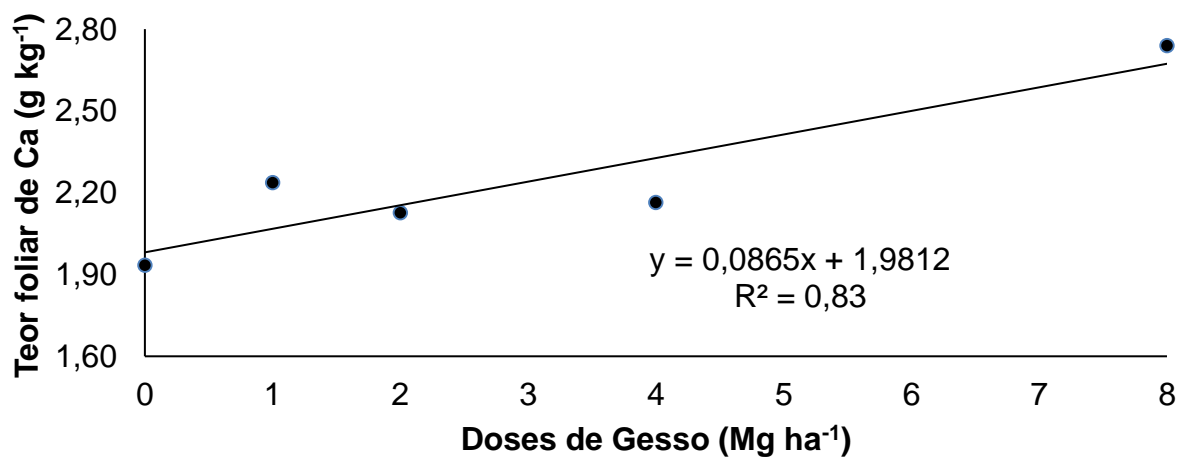


Figura 12. Teor foliar de Ca²⁺ da cultura do milho em função das doses de gesso. Jataí-GO, 2018

Para os teores do macronutrientes Mg²⁺, as médias ajustaram-se melhor a equação de regressão quadrática em função das doses de gesso, como pode ser observado na Figura 13.

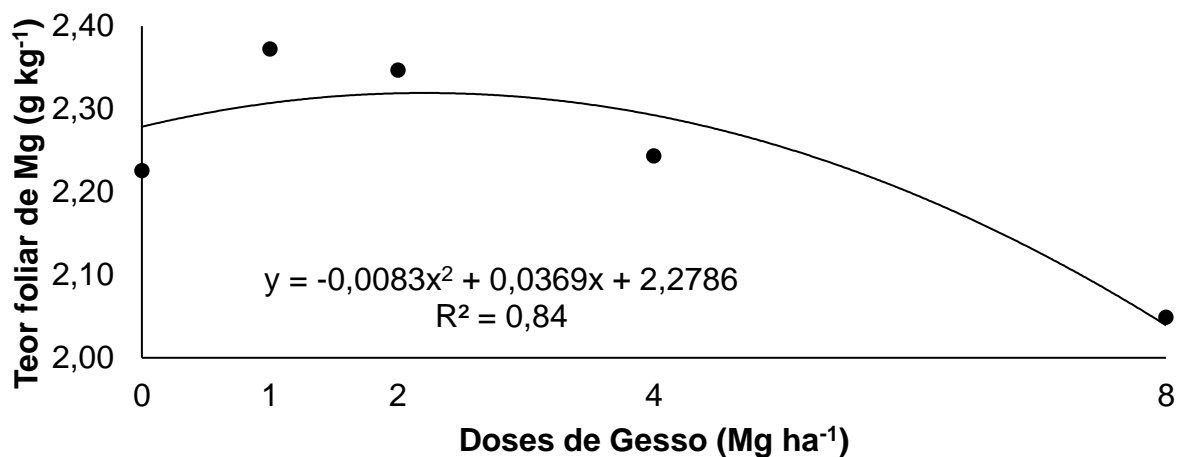


Figura 13. Teor foliar de Mg²⁺ da cultura do milho em função das doses de gesso. Jataí-GO, 2018

Após derivar a equação quadrática obteve-se o maior teor foliar de Mg²⁺ de 2,32 g kg⁻¹ na dose 2,22 Mg ha⁻¹ de gesso. A redução dos teores foliares de Mg²⁺ em função de doses acima de 2,22 Mg ha⁻¹ de gesso, pode ser explicado pela redução do Mg²⁺ em todas as camadas de solo avaliadas em função das crescentes doses de gesso (Figuras 6, 7A e 7B).

Outros fatores também podem influenciar na diminuição dos teores de Mg²⁺ com o uso do gesso. A relação Ca:Mg é antagônica, ou seja, o aumento da concentração de um íon provoca a diminuição, geralmente parcial e reversível, na absorção de outro elemento, o qual se combina com o mesmo sítio do carregador para cruzar a membrana (MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2008).

A ausência de resposta dos teores foliares de P em função da adubação fosfatada (Tabela 14) pode ser explicado pelo estresse hídrico ocorrido no momento de maior necessidade de água da cultura do milho segunda safra.

O resumo da análise de variância (Teste F) para os teores foliares dos micronutrientes e proteína bruta (PB%) no híbrido de milho estudado encontra-se na Tabela 15. Observa-se que não houve interação entre os fatores para nenhuma das variáveis estudadas. Avaliando isoladamente a fonte de variação doses de P₂O₅, verifica-se que também não houve significância para nenhum dos teores foliares de micronutrientes estudados (Tabela 15).

Tabela 15. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para os micronutrientes: zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) cobre (Cu) e proteína bruta (PB%) da análise foliar, determinados no estágio de florescimento pleno da cultura do milho, Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	Zn	Mn	Fe	Cu	PB%
Bloco	10,19 **	9,42 **	1,60 ns	6,71 **	0,72 ns
Gesso (G)	2,64 --	0,60 --	1,57 --	1,63 --	1,07 --
Fósforo (P)	1,03 ns	0,12 ns	1,00 ns	1,14 ns	0,04 ns
G x P	2,21 ns	1,09 ns	1,15 ns	0,23 ns	0,79 ns
Regressão Polinomial					
Reg. Linear	10,33 **	0,49 ns	0,51 ns	0,43 ns	1,02 ns
Reg. Quadrática	0,25 ns	1,25 ns	5,01 ns	2,83 ns	0,01 ns

-- Regressão Polinomial. O Teste F não se aplica. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$).

Avaliando isoladamente as a fonte de variação doses de gesso, houve significância apenas para as médias dos teores foliares de Zn^{2+} , ajustando-se a equação de regressão linear negativa (Figura 14), ou seja, houve redução dos teores de foliares de Zn^{2+} em função das crescentes doses de gesso.

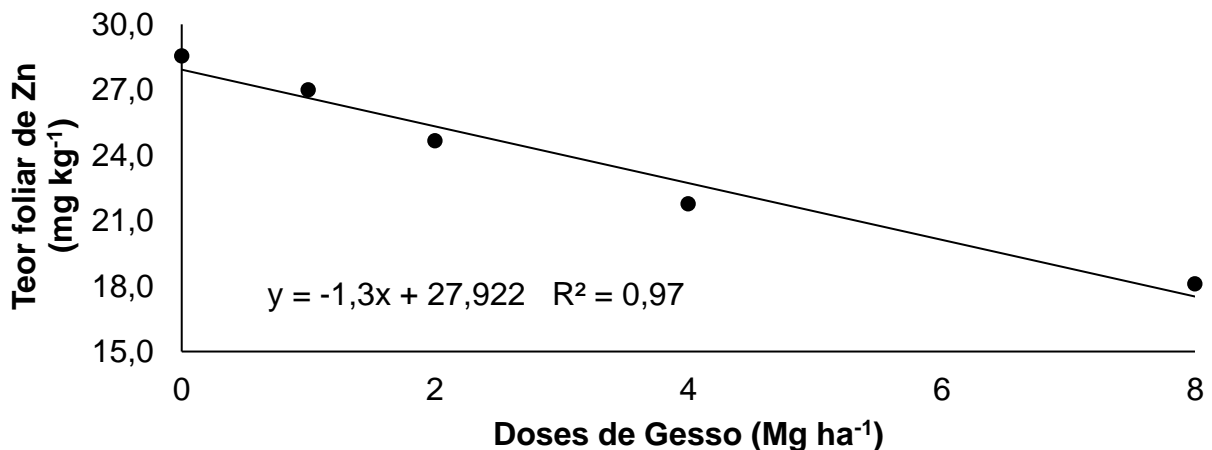


Figura 14. Teor foliar de Zn^{2+} da cultura do milho em função das doses de gesso. Jataí-GO, 2018

Este resultado pode ser explicado pelo incremento nos teores foliares de Ca^{2+} em função das crescentes doses de gesso (Figura 12), uma vez que altos teores de Ca^{2+} no solo proporcionam efeito inibitório para a absorção de Zn^{2+} (MALAVOLTA, 2006).

4.3. Massa de raízes secas.

O resumo da análise de variância (Teste F) para massa de raízes secas (MRS) do milho estudado nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, encontra-se na Tabela 16. Pode-se observar que houve interação entre os fatores estudados apenas na camada de 20-40 cm. As médias da MRS do milho não foram alteradas com as doses de gesso aplicadas para nenhuma camada de solo estudada (Tabela 16).

Tabela 16. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para a massa de raízes secas (MRS). Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	MSR	
	0-20 cm	20-40 cm
Bloco	2,26 ^{ns}	0,36 ^{ns}
Gesso (G)	0,72 ⁻⁻	0,66 ⁻⁻
Fósforo (P)	3,23 [*]	1,54 ^{ns}
G x P	1,42 ^{ns}	0,90 [*]
Regressão Polinomial		
Reg. Linear	0,04 ^{ns}	0,73 ^{ns}
Reg. Quadrática	2,79 ^{ns}	0,18 ^{ns}

-- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ns não significativo ($p \geq 0,05$).

Avaliando as doses de P isoladamente, verifica-se que, somente a massa de raízes secas na camada de 0-20 cm apresentou comportamento diferente entre as doses avaliadas (Tabela 17). A medida em que houve incrementos nas doses de P_2O_5 houve redução da massa de raízes secas, onde as plantas cultivadas nas parcelas que receberam 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 apresentaram redução na massa de raízes quando comparadas as plantas que não receberam adubação fosfatada.

Os menores valores de MRS obtidos possivelmente ocorreram devido a modificações no crescimento e arquitetura de raízes, visto que são variáveis que interferem diretamente na MSR, os quais foram apontadas por diversos autores como resposta às condições de baixa disponibilidade de P (YAN et al., 2001; ALVES et al., 2002).

Pereira (2007) avaliando a MSR em várias camadas de solo, observou que na presença de doses de gesso os valores de massa seca de raízes tendem a diminuir na camada de 0-10 cm e aumentar em camadas mais profundas a 10 cm. Resultados

diferentes foram encontrados por Rosolem & Marcello (1998), os quais observaram que a baixa disponibilidade de P, induz ao crescimento das raízes em comprimento com o conseqüente aumento na superfície radicular, sem modificar a massa de matéria seca das raízes.

Tabela 17. Massa de raízes secas (MRS) do milho na camada de 0-20 cm, avaliando-se isoladamente as doses de fósforo, Jataí-GO, 2018

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	MRS g dm ⁻³
0	8,31 a
40	7,89 ab
80	7,01 b
CV%	21,93

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ainda para MSR, na interação entre os fatores estudados (Gesso e Fósforo) apenas na camada 20 a 40 cm, percebe-se que houve aumento na massa de raízes secas de milho com o aumento na disponibilidade de P, somente na dose de 8,0 Mg ha⁻¹ de gesso (Tabela 18).

Tabela 18. Desdobramento da interação entre gesso e fósforo para massa de raízes secas de milho da camada de 20-40 cm. Jataí-GO, 2018

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Doses de gesso (Mg ha ⁻¹)				
	0	1	2	4	8
	g dm ⁻³				
0	4,23 a	4,44 a	4,20 a	3,87 a	3,63 b
40	4,65 a	4,25 a	4,70 a	3,49 a	3,66 b
80	3,84 a	4,46 a	4,06 a	4,22 a	5,25 a
CV %	16,29				

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4. Componentes da produção do milho

O resumo da análise de variância (Teste F) para os componentes de produção do milho encontra-se na Tabela 19. Observa-se que não houve interação entre os fatores estudados (G X P) para nenhum dos componentes da produção avaliados.

Tabela 19. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para os componentes de produção no milho. Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	Diâmetro de espigas	Diâmetro de Sabugo	Comp. de Grãos	Comp. de Espigas	Nº. de Fileiras	1000 Grãos
Bloco	2,09 ^{ns}	2,88 [*]	11,79 ^{**}	4,68 ^{**}	0,71 ^{ns}	12,67 ^{**}
Gesso (G)	0,85 ⁻⁻	0,26 ⁻⁻	0,25 ⁻⁻	1,52 ⁻⁻	1,64 ⁻⁻	0,81 ⁻⁻
Fósforo (P)	4,22 [*]	1,29 ^{ns}	2,37 ^{ns}	1,84 ^{ns}	3,32 [*]	1,36 ^{ns}
G x P	0,40 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Regressão Polinomial						
Reg. Linear	0,13 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Reg. Quadrática	2,24 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,32 ^{ns}	5,46 [*]	2,76 ^{ns}	2,22 ^{ns}

-- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Verifica-se que, para o fator de variação doses de P_2O_5 , somente os componentes diâmetro de espigas e número de fileiras apresentaram comportamentos diferentes entre as doses avaliadas (Tabela 19).

Para o diâmetro de espigas o tratamento que não recebeu adubação fosfatada apresentou menor valor em relação aos demais e para o número de fileiras por espiga, houve diferença significativa somente entre os tratamentos 0 e 80 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (Tabela 20). Estes componentes apresentam relação de dependência um com o outro, uma vez que o aumento no número de fileiras, normalmente, resulta em espigas com maior diâmetro.

Tabela 20. Média de diâmetro de espigas, número de fileiras e produtividade, avaliando-se isoladamente as doses de fósforo, Jataí-GO, 2018

Doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$)	Diâmetro de Espigas (cm)	Nº. Fileiras (un)
0	4,46 b	14,27 b
40	4,56 a	14,39 ab
80	4,56 a	14,64 a
CV%	2,96	2,93

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O incremento nos componentes diâmetro de espigas e número de fileiras por espiga, proporcionado pelos tratamentos com fósforo, deve-se a maior demanda por

este nutriente a partir do estágio V6, o qual interfere positivamente no número de fileiras de grãos no estágio V8, no comprimento de espigas no estágio V12 e consequentemente na produtividade (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

Avaliando isoladamente a fonte de variação doses de gesso (Tabela 19), verifica-se que houve significância apenas para a componente da produção comprimento de espigas. Nota-se que as médias se ajustaram melhor ao modelo de equação de regressão quadrática em função do aumento das doses de gesso (Figura 15), onde se obteve o maior comprimento de espigas de 14,01 cm com aplicação de 3,28 Mg ha⁻¹ de gesso.

Amaral et al. (2017) avaliando o comprimento de espigas do milho cultivado em segunda safra observaram incremento em função de crescentes doses de gesso (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹), o qual obteve os maiores valores de comprimento de espigas para a dose de 4 t ha⁻¹. Resultado diferente foi obtido por Soares (2016), o qual não observou efeito do gesso agrícola no comprimento de espigas milho segunda safra, entretanto para este autor a distribuição de chuvas foi abundante e uniforme durante a condução do experimento.

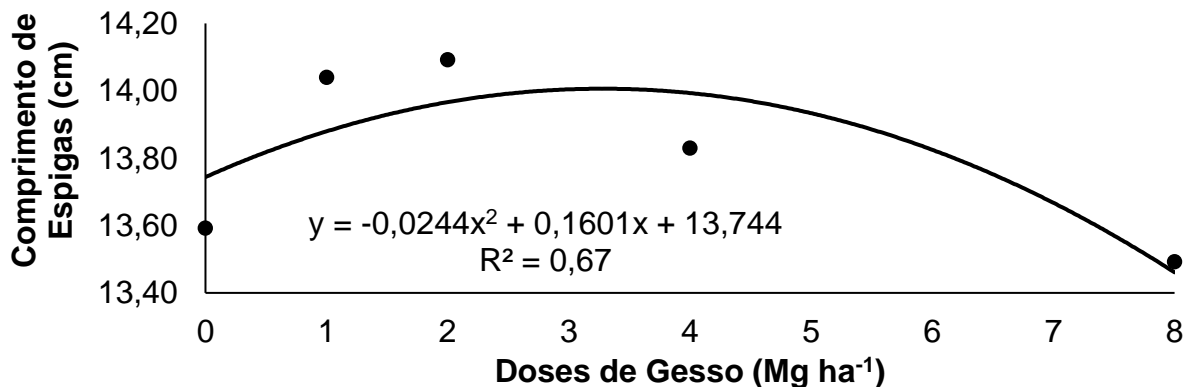


Figura 15. Comprimento de espigas da cultura do milho em função das doses de gesso agrícola. Jataí-GO, 2018

4.5. Produtividade de grãos de milho.

O resumo da análise de variância (Teste F) para a produtividade de grãos de milho encontra-se na Tabela 21. Não houve interação entre as fontes de variação estudadas. Porém, é possível notar que houve efeito significativo isolado para as doses de gesso e P.

Tabela 21. Resumo da análise de variância (Teste F) para: bloco, gesso, fósforo e suas interações para a produtividade de grãos de milho. Jataí-GO, 2018

Causas de Variação	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Bloco	2,39 ^{ns}
Gesso (G)	4,34 ⁻
Fósforo (P)	4,05 [*]
G x P	2,10 ^{ns}
Regressão Polinomial	
Reg. Linear	3,00 ^{ns}
Reg. Quadrática	10,86 ^{**}

- Regressão Polinomial. ** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). * significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$). ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Avaliando isoladamente as doses de P₂O₅ para a produtividade (Tabela 22), assim como aconteceu para os dois componentes da produção mencionados na Tabela 19, observa-se incrementos nesta variável a medida em que houve aumento na disponibilidade de P via adubação. O tratamento que recebeu 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mostrou-se superior ao tratamento com ausência de adubação fosfatada (Tabela 22). Estes resultados podem ser explicados pelos aumentos observados para o diâmetro de espiga e número de fileiras (Tabela 19), uma vez que ambos ajudam a compor a produtividade de grãos de milho.

Tabela 22. Produtividade de grãos de milho, avaliando-se isoladamente o fator de variação P. Jataí-GO, 2018

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
0	1.778,56 b
40	1.886,44 ab
80	1.935,49 a
CV%	9,56

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Avaliando isoladamente a produtividade de grãos de milho em função das doses de gesso, nota-se ajuste ao modelo de equação quadrática em função do aumento das doses de gesso (Figura 16), onde se obteve a máxima produtividade, 2.054,9 kg ha⁻¹, com aplicação de 4,38 Mg ha⁻¹ de gesso.

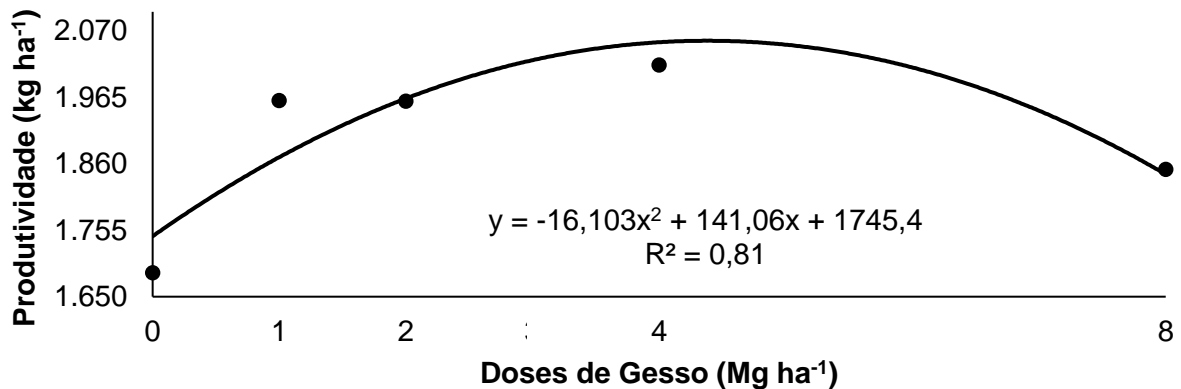


Figura 16. Produtividade da cultura do milho em função das doses de gesso. Jataí, GO, 2018

Em condições de estresse hídrico, como ocorreu neste trabalho, a produtividade de grãos de milho respondeu a aplicação de gesso agrícola além da dose recomendada pela fórmula $NG = 5 \times g \text{ kg}^{-1}$ de argila, que para esta pesquisa é de $2,93 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso.

Os baixos valores da produtividade de milho segunda safra encontrados neste trabalho deve-se ao longo período de estresse hídrico, totalizando 65 dias com precipitação acumulada de 46,1 mm entre os estádios V6 e enchimento de grãos (Figura 2).

Soares (2016) não observou efeito do gesso agrícola na cultura da soja e do milho segunda safra, em ano de boa distribuição de chuvas, diferentemente de Amaral (2017), que na ausência de estresse hídrico observou em ensaio também conduzido com Latossolo Vermelho Distroférrico em ano de boa distribuição de chuvas, avaliando a produtividade do milho cultivado em segunda safra em função das crescentes doses de gesso (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha^{-1}) observaram incremento linear na produtividade, sendo observada a produtividade de 6.480 kg ha^{-1} com a dose de 4 Mg ha^{-1} .

Sousa et al. (2005) observaram a maior produtividade de milho de 5.525 kg ha^{-1} na dose de 1 t ha^{-1} de gesso, enquanto que Caires et al. (2004) verificaram maior incremento de produtividade na dose de 9 t ha^{-1} de gesso em um Latossolo Vermelho Distrófico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os baixos valores da produtividade obtida neste experimento devem-se a baixa disponibilidade hídrica (Figura 2) no momento de maior necessidade de água da cultura, portanto destaca-se uma condição ambiental atípica da região de cultivo. O longo período de estresse hídrico interferiu negativamente para que a cultura não expressasse todo o seu potencial produtivo, dificultando o crescimento radicular e a absorção de nutrientes com destaque para o P.

Para recomendações agrícolas mais precisas de gesso, é importante a avaliação de outras variáveis do solo, além das que são usualmente avaliadas, uma vez que tem sido comum encontrar respostas das culturas a esse condicionador mesmo em áreas que não se enquadram nos itens citados na literatura como teores de Ca^{2+} e Al^{3+} na camada de 20 a 40 cm. Desta forma, torna-se necessário mais pesquisas no que tange ao gesso agrícola e suas interações com fatores edafoclimáticos, para a elaboração de novas fórmulas de recomendação no futuro.

6. CONCLUSÕES

1. O efeito residual do gesso (16 meses após a sua aplicação) não proporciona aumento na eficiência da adubação fosfatada para a cultura do milho segunda safra.

2. Em condições de estresse hídrico, a produtividade de grãos de milho responde a aplicação de gesso agrícola além da dose recomendada pela fórmula $\text{NG} = 5 \times \text{g kg}^{-1}$ de argila, que para esta pesquisa é de $2,93 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso.

3. O fósforo proporciona incrementos na produtividade de grãos de milho somente quando da aplicação de 100% da dose recomendada (80 kg ha^{-1} de P_2O_5).

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. do.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 437-445, 2005.

ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; VASCONCELLOS, C. A.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, C. C. de M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.1, p.85-92, 2002.

AMARAL, L. A. do; ASCARI, J. P.; DUARTE, W. M.; MENDES, I. R. N.; SANTOS, E. S.; JULIO, O. L. L. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Revista Agrarian**, Dourados, v.10, n.35, p.41, 2017.

BALBINO, L.C.; MOREIRA, J.A.A.; SILVA, J.G. da; OLIVEIRA, E.F.; OLIVEIRA, I.P. Plantio direto. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, p.301-352, 1996.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. 1.ed. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Plantio direto**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plantio-direto>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

BÜLL, L.T.; FORLI, F.; TECCHIO, M.A.; CORRÊA, J.C. Relação entre fósforo extraído por resina e resposta da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 459-470, 1998.

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**, Viçosa, 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 de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, 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**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 213-223, 2001.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, 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.; KUSMAN, M. T.; 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**, Viçosa, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W.; Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 6, p. 1804-1814, 2011.

CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27 nº.1, 2003.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I.; FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 267-270, 1985.

COELHO, A. M.; **Nutrição e Adubação do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo – Circular Técnica 78)

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento; **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, 12º Levantamento setembro/2017**. Disponível em < <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=> > Acesso em 14/11/2017.

CORRÊA, J.C; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, v.39, p.1231-1237, 2004.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, A. **Qualidade do solo, crescimento e desenvolvimento do milho sob diferentes sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária**. 2005. 157 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo), Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.

DEMATTÊ, J. L. I. **Cultura da cana-de-açúcar recuperação e manutenção da fertilidade dos solos**. Piracicaba: Potafos, 2005. 24 p. (Encarte técnico, 111).

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1009-1016, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa - SPI, 2006. 286 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: SNLCS, 225p. 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plantio direto reduz efeitos da degradação do solo**. Disponível em: <http://hotsites.sct.embrapa.br/diacampo/programacao/2011/plantio-direto-reduz-efeitos-da-degradacao-do-solo>. Acesso em: 02 dez. 2016.

ERNANI, P. R., BARBER, S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 41-46, 1993.

ERNANI, P. R., RIBEIRO, M. S., BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionados pelos métodos de aplicação de corretivo da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 825-831, 2001.

FANCELLI, A.L; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (Febrapdp). **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. 2012. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.

FITTIPALDI, W. L. S. L. **Sistemas de cultivo e gesso nas características químicas do solo e produtividade de milho consorciado com braquiária**. 2006. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Área de Concentração em Fitotecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Marília, 2006.

GARBUIO, F. J. **Alterações químicas do solo, nutrição, produção e qualidade de grãos de milho em função da aplicação de gesso em sistema plantio direto**. 2006. 71p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria.

GRANT, C.A.; PLATEN, D.N.; TOMAZIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Informações Agronômicas Potafos, Piracicaba - SP, nº 95, 2001. 5p.

GRANT, C.; BITTMAN, S.; MONTREAL, M.; PLENCHETTE, C.; MOREL, C. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 85, p. 3-14, 2005.

HANSEL, F. D. **Fertilizantes fosfatados aplicados a lanço e em linha na cultura da soja sob semeadura direta**. 2013. 74p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Santa Maria.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> >. 2017.

JONES, C.; JACOBSEN, J. **Plant nutrition and soil fertility**. In: Nutrient Management Module, No.2. Nutrient Management a self-study course from MSU Extension Continuing Education Series. Montana State University, dec. 2001.

LEITE, F. N. F.; CRUZ, M. C. P. da; FERREIRA, M. E.; ANDRIOLO, I.; BRAOS, L. B.; Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa agropecuária brasileira**., Brasília, v.51, n.11, p.1880-1889, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola adubos e adubação**. 2. ed. São Paulo: Ceres, 1967. p. 87-88.

MALAVOLTA, E. **Fósforo e adubação fosfatada no cerrado**. Goiânia: SOTAVE, 1984, p. 27.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. In: NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Informações agronômicas, Potafos, nº 87, Piracicaba – SP, 1999. 2p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Ceres Ltda. 638p. 2006.

MANETTI, F. A. **Momento de aplicação de calcário e gesso em um Latossolo Vermelho Distrófico, no desenvolvimento inicial do milho**. 2005. 56 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2005.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 82 f. (Mestrado em Ciência do Solo) –Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, p.143-168. 1999.

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.

MATOS, M.J.L.F.; TAVARES, S.A.; SANTOS, F.F.; MELO, M.F.; LANA, M.M. **Milho verde**. 2006. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/dicas_ao_consumidor/milho_verde.htm> Acesso em: 15 de nov. de 2017.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 435-443, 2003.

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

MUZILLI, O. **Fertilidade do solo em plantio direto**. In: FANCELLI, P. I.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. (Ed.). Atualização em plantio direto. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.147-158.

NORA, D. D.; AMADO, T. J. C.; BORTOLOTTI, R. P.; FERREIRA, A. de O.; KELLER, C.; KUNZ, J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 1 – 10, 2014.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of América Journal**, Madison, v. 48, p. 33-38, 1984.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 911-920, 2008.

PEREIRA, F. R.; **Gesso de minério associado a fontes de fósforo na cultura do milho em sistema plantio direto no estado de alagoas**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu. 2007.

PINTO; M, M. **Avaliação da implantação de cobertura vegetal em uma pilha de fosfogesso**. 102 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 407 p. 2008.

PREZOTTI, L.C.; DEFILIPO, B. V.; Formas de potássio em solos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11, p. 109-114, 1987.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Anda, 1988. 88 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

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

RESENDE, J. C. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MARKEWITZ, D.; KLINK, C. A.; DAVIDSON, E. A. Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: impacts of frequent burning. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 105, n. 1-3, p. 105-118, 2011.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.de; LOBATO, E.; SOUSA, O. C. Calcium leaching to increase rooting depth in Brazilian savanna Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, 34:40-4, 1980.

RITCHEY, K.D.; SILVA, S.E.; COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, New Brunswick, v. 133, ed. 6, p. 378- 382, 1982.

ROSOLEM, C. A.; MARCELLO, C. S.; Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, vol. 55 n. 3 Piracicaba, 1998.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Gessagem**. Agencia Embrapa de Informação Tecnológica-Ageitec. 2011. Disponível em:< https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_35_711200516717.html > Acesso em: 04 dez. 2017.

RUIZ, H.A.; BERNARDES, B.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; PEREIRA, P.A. Efeito do conteúdo de água sobre os níveis críticos de fósforo em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.43-48, 1988.

SANTOS, E. de A.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35 n. 3, p. 139-146, 2005.

SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F. P. de. Eficiência do fosfato natural de Gafsa associado à calagem e gesso e sintomas nutricionais da alfafa, *Medicago sativa* L. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 4, p. 1155-1161, 2002.

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**, Anápolis, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2011.

SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M.; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M.; PESSONI, P.T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 71, p. 30-40, 2012.

SHAINBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A.; FEY, M. V. Use of gypsum on soils: A review. **Advances in Soil Science**, New York, v. 9, p. 1-111, 1989.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

SILVA, N.M.; RAIJ, B.van; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C.; KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do Algodão. **Bragantia**, Campinas, v. 56, p. 389-401, 1997.

SOARES, G. F. **Gesso e fósforo na sucessão soja/milho safrinha**. 74p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, Jataí. 2016.

SORATTO, R.P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema de plantio direto**. 173f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2005.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32 nº. 2, p. 675-688, 2008.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes**. In: _____. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2. ed, Cap.12, p.283-315. 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2005. 19 p. (Circular técnica, 32).

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; **Manejo do fósforo na região de Cerrado**. In: Flores, R. A.; Cunha, P. P.; (Eds.). Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado. Goiânia: gráfica UFG, p. 191-358, 2016.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. **Fósforo - nutriente essencial para a vida**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e. Informações Agrônômicas Potafos, Piracicaba, nº 102, 2003.

SUMNER, M. E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, p. 1254- 1278, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.

USDA, U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2017. In: **Workshop Jornalismo Agropecuário**. Disponível em: <http://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalle?c=3&s=9>. Acesso em 15 de dez. de 2017.

VALADÃO JÚNIOR, D.; BERGAMIN, A.; VENTUROSO, L.; SCHLINDWEIN, J.; CARON, B.; SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 9, p. 379-365, 2008.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C. **Utilização agrônômica de corretivos agrícolas**. Piracicaba: FEALQ/ GAPE, 2001.

VITAL, A. de F.; SANTOS, R. V. dos.; CALVACANTE, L. F.; SOUTO, J. S. Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.30-36, 2005.

YAMADA, T. **Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes**. Informações agrônômicas Potafos, nº 100. Piracicaba – SP, 2002. 5p.

YAN X., LIAO H., CAO A., HE Y. The role of root architecture in P acquisition efficiency of different root systems: a case study with common bean and rice. In: Horst W.J. et al. (eds) Plant Nutrition. **Developments in Plant and Soil Sciences**, vol 92. Springer, Dordrecht, 2001.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, 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, p. 128-137, 2015.