

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO (MESTRADO) EM AGRONOMIA**

ADLIZ AYRAM DE BASTOS BUDZIAK SALGADO

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE GESSO NA EFICIÊNCIA DA
ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A SUCESSÃO TRIGO-SOJA
EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

**PONTA GROSSA - PR
2017**

ADLIZ AYRAM DE BASTOS BUDZIAK SALGADO

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE GESSO NA EFICIÊNCIA DA
ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A SUCESSÃO TRIGO-SOJA
EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à Universidade
Estadual de Ponta Grossa para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia – Área de
Concentração: Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires.

**PONTA GROSSA - PR
2017**

**Ficha
Catalográfica**
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

S164 Salgado, Adliz Ayram de Bastos Budziak
 Efeito residual da aplicação de gesso
 na eficiência da adubação fosfatada para a
 sucessão trigo-soja em sistema plantio
 direto/ Adliz Ayram de Bastos Budziak
 Salgado. Ponta Grossa, 2017.
 51f.

 Dissertação (Mestrado em Agronomia -
 Área de Concentração: Agricultura),
 Universidade Estadual de Ponta Grossa.
 Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero
 Caires.

 1.Glycine max (L.). 2.Triticum aestivum
 (L.). 3.Fósforo. 4.Fosfogesso. I.Caires,
 Eduardo Fávero. II. Universidade Estadual
 de Ponta Grossa. Mestrado em Agronomia.
 III. T.

CDD: 631.85



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: “Efeito residual da aplicação de gesso na eficiência da adubação fosfatada para a sucessão trigo - soja em sistema plantio direto”.

Nome: Adlíz Ayram de Bastos Budziak Salgado

Orientador: Eduardo Fávero Caires

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

Prof. Dr. Fernando José Garbuio

Dr. Gabriel Barth

Data da Realização: 20 de dezembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a todas as pessoas e a instituição pois sem as quais esse trabalho não seria realizado.

À Deus e a Nossa Senhora Aparecida pelas bênçãos, iluminação e pelas pessoas que colocaram em meu caminho.

Aos meus familiares, em especial ao meu marido Vinicius, meu filho Arthur, aos meus pais Andre e Luciana, aos meus sogros Lineu e Eliane e a minha tia Rosana pelo imenso carinho, apoio e compreensão.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Professor Dr. Eduardo Fávero Caires, pela orientação, pela oportunidade e confiança dada a mim na realização desse trabalho.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela dedicação ao ensino e a formação científica.

Aos funcionários da Universidade Estadual de Ponta Grossa, em especial à técnica do Laboratório de Fertilidade do Solo Dirce Aparecida de Oliveira, pela amizade, carinho e auxílio na realização das análises químicas de solo e planta.

A todos os colegas da pós-graduação, especialmente para Ariane e Lucia pelo companheirismo e amizade que levarei por toda vida.

Aos meus amigos e colegas do Laboratório de Fertilidade do Solo: Angelo Rafael Bini, Vanderson Duarte, Adriano Haliski, Shively Los Galetto, Alan Jean de Oliveira,

Felipe B. Moreira, Daniel Moreira e Alessandro Gruzska Levandoski, pela amizade, companheirismo e auxílio na realização desse trabalho.

A família Massinham, proprietária da Fazenda Massinham, por ceder a área para realização do experimento.

E a todas as pessoas que não foram citadas, mas que foram fundamentais no desenvolvimento desse trabalho.

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE GESSO NA EFICIÊNCIA DA
ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA A SUCESSÃO TRIGO-SOJA
EM SISTEMA PLANTIO DIRETO
RESUMO**

O P é o nutriente que mais limita a produtividade agrícola no Brasil, devido ao material de origem dos solos brasileiros, pela forte interação do P com o solo e pela sua precipitação com compostos de Fe, Al e Ca, por esse motivo os adubos fosfatados tem sido utilizado em maiores quantidades comprometendo as reservas mundiais que vem diminuindo. Com isso, há necessidade de se aprimorar a eficiência do uso de P na agricultura e o uso de gesso pode ser uma alternativa, devido à presença em sua composição de P e ao favorecimento do crescimento radicular. Sendo assim o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual da aplicação de gesso na eficiência da adubação fosfatada para a sucessão trigo-soja em sistema plantio direto. O experimento foi instalado em outubro de 2013, no município de Ponta Grossa, em um Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa. O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas (180 m²) foram aplicadas, no sulco de semeadura, nas safras de inverno e verão, quatro doses de P (0, 30, 60 e 90 kg P₂O₅ ha⁻¹) na forma de superfosfato triplo (SFT) e, nas subparcelas (45 m²) foram empregadas quatro doses de gesso agrícola (0, 2, 4, 6 t ha⁻¹), em outubro de 2013. A sucessão de culturas do experimento foi: trigo (2015) e soja (2015/2016), sendo avaliado o efeito residual de gesso agrícola após 33 meses de sua aplicação (outubro de 2013) e os efeitos das doses de P. As avaliações realizadas foram os atributos químicos do solo (pH, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, S-SO₄²⁻ e P) nas camadas (0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade), e nas culturas do trigo (2015) e soja (2015/2016) foram avaliados: (diagnose foliar, extração, rendimento de grãos e o fator parcial de produtividade). O efeito residual de gesso agrícola na superfície e a adubação fosfatada no sulco de semeadura ocasionaram melhoria nos atributos químicos do solo, sendo que o incremento das doses de P ocasionaram aumento de P (0-20 cm), SO₄²⁻ (20-40 cm), Ca²⁺ e K⁺ (40-60 cm) e diminuição de P (20-40 cm), SO₄²⁻ (0-10 cm) e Mg²⁺ (40-60 cm). O efeito residual do gesso agrícola ocasionou aumento de Ca²⁺ (0-60 cm), P (0-20 cm), SO₄²⁻ (10-60 cm) e K⁺ (40-60 cm), e diminuição de Al³⁺ (10-20 cm). Na cultura do trigo, o incremento das doses de P aumentaram o teor foliar de P, Ca e S e diminuiu a extração de Fe, já com o incremento de gesso ocorreu aumento do teor foliar de Ca e S e diminuição do teor de Mg, e aumento da extração de P, S e Cu. Na cultura da soja o incremento das doses de P e de gesso não ocasionaram diferenças estatísticas na diagnose da cultura, já para a extração da planta, houve aumento da extração de K, Fe, Mn e Zn com o incremento das doses de P, e aumento na extração de P, Ca, S e Fe com o incremento das doses de gesso. Para o rendimento de grãos o aumento das doses de P não foram eficientes para aumentar a produtividade das culturas de trigo e soja, já o incremento das doses de gesso foi eficiente somente para a cultura do trigo aumentando em 21,8% o rendimento de grãos. O incremento nas doses de P aplicadas aumentou o fator parcial de produtividade de P (FPPP) nas culturas de trigo e soja, quando a menor dose de P (30 kg ha⁻¹) foi aplicada. O efeito residual do gesso no aumento da produtividade de trigo não foi ocasionado por melhoria na eficiência de utilização de P pelas plantas.

Palavras-Chave: *Glycine max* (L.), *Triticum aestivum* (L.), Fósforo, Fosfogesso.

RESIDUAL EFFECT OF GYPSUM APPLICATION IN THE EFFICIENCY OF PHOSPHATE FERTILIZATION FOR THE SUCCESSION WHEAT-SOYBEAN NO - TILL SYSTEM

ABSTRACT

P is the nutrient, which most limits agricultural productivity in Brazil, due to the material from Brazilian soils, because of the strong interaction of P with soil, and its precipitation with compounds Fe, Al and Ca, for this reason, phosphate fertilization has been utilized in larger quantities, compromising world supplies, which have been diminishing. Therefore, it is necessary to improve the efficiency of the utilization of P in agriculture, and the utilization of gypsum may be an alternative, due to the presence of P in its composition and the favoring of root growth. Thus, this paper is aimed at evaluating residual effect of gypsum application in the efficiency of phosphate fertilization for the succession wheat-soybean in no tillage system. The experiment was installed in October 2013, in the municipality of Ponta Grossa, in a typical dystrophic Red Latosol, clay texture. The experimental delineation applied was the blocks by chance, in subdivided parcels, with three repetitions. In the (180 m²) parcels, four doses of P (0, 30, 60 and 90 kg P₂O₅ ha⁻¹) were applied, in-furrow, for winter and summer harvests, in the form of Triple SuperPhosphate (TSP) and, in the (45 m²) subparcels, four doses of agricultural gypsum were applied (0, 2, 4, 6 t ha⁻¹), in October of 2013. The succession of crops for the experiment was: wheat (2015) and soybean (2015/2016), residual effect of agricultural gypsum was evaluated 33 months after its application (October of 2013), along with the effects of P doses. The evaluations performed were about the chemical attributes of the soil (pH, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, S-SO₄²⁻ and P) in layers (0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm deep) in wheat crops (2015), and in soybean crops (2015/2016); foliar diagnosis, extraction, grain yield, and the partial factor productivity were evaluated. The residual effect of agricultural gypsum in the surface and phosphate fertilization in-furrow caused improvements to the chemical attributes of the soil, where the addition of P doses caused an increase of P (0-20 cm), SO₄²⁻ (20-40 cm), Ca²⁺ and K⁺ (40-60 cm) and a decrease of P (20-40 cm), SO₄²⁻ (0-10 cm) and Mg²⁺ (40-60 cm). The residual effect of agricultural gypsum caused an increase of Ca²⁺ (0-60 cm), P (0-20 cm), SO₄²⁻ (10-60 cm) and K⁺ (40-60 cm), and a decrease of Al³⁺ (10-20 cm). In wheat crops, the addition of P doses increased the foliar content of P, Ca and S, and decreased the extraction of Fe, on the other hand with the addition of gypsum an increase of Ca and S foliar content occurred and a decrease of Mg content, and an increase of P, S and Cu extraction. In soybean crops, the addition of P doses and gypsum caused statistical differences in the crop diagnosis, and then again, for the extraction of the plant, there was an increase of K, Fe, Mn and Zn extraction with the addition of P doses, and an increase of P, Ca, S and Fe extraction with the addition of gypsum doses. For grain yield, the increase of P doses were not efficient to boost productivity in wheat and soybean crops, as for the addition of gypsum doses, it was only efficient for wheat crops with a 21,8% increase of grain yield. The addition in applied P doses increased the partial factor productivity (PFP) of P in wheat and soybean crops, when the lowest dose of P (30 kg ha⁻¹) was applied. The residual effect of gypsum in the increase of wheat productivity did not happen because of improvements in the efficiency of P usage by plants.

Key-words: *Glycine max* (L.), *Triticum aestivum* (L.), Phosphorus, Phosphogypsum.

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Precipitação pluvial mensal ocorrida durante a realização do experimento no período de 2015 a 2016 e precipitação pluvial média mensal histórica (17 anos) da região de Ponta Grossa (PR). Fonte: Deral, 2015, Fundação ABC.....	25
FIGURA 2 - Produtividade de grãos de trigo no ano agrícola de 2015, em função das doses de gesso agrícola (0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹) na superfície (a) e a aplicação de fósforo (□ = efeito médio das doses 0, 30, 60 e 90 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅) no sulco de semeadura (b). ** p<0.01 e *p<0.05.....	40
FIGURA 3 - Rendimento de grãos de soja (2015/2016), efeito médio após a aplicação de fósforo (○ = efeito médio das doses 0, 30, 60 e 90 kg.ha ⁻¹) no sulco de semeadura, e efeito médio da aplicação de gesso agrícola (2013) (□ = efeito médio das doses 0, 2, 4 e 6 ton.ha ⁻¹).	41

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Resultados das análises químicas e granulométricas dos solos, antes da instalação do experimento.....	24
TABELA 2 - Alterações nos atributos químicos do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, após a aplicações de doses de fósforo no sulco de semeadura.....	31
TABELA 3 - Alterações nos atributos químicos do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, após a 33 meses da aplicação de gesso agrícola	32
TABELA 4 - Concentrações de nutrientes nas folhas de trigo, em 2015, considerando a aplicação de fósforo no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total.....	34
TABELA 5 - Concentrações de nutrientes nas folhas de soja, em 2015/2016, considerando a aplicação de fósforo no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total.....	35
TABELA 6 - Extração de nutrientes pela cultura do trigo, em 2015, considerando a aplicação de fósforo no sulco de semeadura de gesso agrícola em área total.....	37
TABELA 7 - Extração de nutrientes pela cultura da soja, em 2015/2016, considerando a aplicação de fósforo no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total.....	38
TABELA 8 - Fator Parcial de Produtividade de Fósforo nas culturas de trigo e soja em função das doses de fósforo e de gesso agrícola.....	42

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Sistema plantio direto.....	13
2.2. Fósforo.....	14
2.2.1. Fósforo no solo	15
2.2.2. Fósforo na planta.....	17
2.2.3. Adubação fosfatada e resposta das culturas.....	19
2.3. Gesso agrícola.....	20
2.4. Uso associado de fósforo e gesso agrícola.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Localização e caracterização da área experimental.....	24
3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	26
3.3. Sucessão de culturas.....	26
3.4. Avaliações.....	27
3.4.1. Amostragem e análises químicas das plantas.....	27
3.4.2. Amostragem e análises químicas do solo.....	28
3.5. Fator parcial de produtividade de fósforo.....	29
3.6. Análises estatística.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Atributos químicos do solo.....	30
4.2. Diagnose nutricional das culturas do trigo e da soja.....	34
4.3. Extração de nutrientes.....	36
4.4. Produtividade de grãos de trigo e soja.....	38

4.5.	Fator parcial de produtividade do fósforo.....	42
5.	CONCLUSÕES.....	43
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto tem contribuído para a diminuição dos processos de degradação física e química do solo, melhorando a qualidade do solo, a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas, bem como o rendimento de grãos das culturas. Porém os solos brasileiros de alta atividade agrícola apresentam baixa concentração de bases trocáveis, alta concentração de alumínio (Al) trocável e baixo teor de fósforo (P) disponível, os quais são decorrentes de alta intemperização. Para a realização da correção de acidez do solo em sistema plantio direto, a calagem é realizada na superfície, sem incorporação. Como o calcário apresenta baixa solubilidade em água e os produtos de sua dissolução possuem baixa mobilidade no solo, a ação da calagem torna-se lenta e mais restrita às camadas superficiais do solo (CAIRES et al., 2006b; MORAES et al., 2007).

Uma alternativa para a melhoria do ambiente radicular em camadas subsuperficiais é o uso de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), o qual tem apresentado bons resultados no aumento do rendimento das culturas (CAIRES et al., 2002; 2011a,b; SORATTO & CRUSCIOL, 2008a; SORATTO et al., 2010; RAMPIM et al., 2011). O gesso, quando aplicado na superfície, movimenta-se para as camadas do subsolo e, como resultado, tem-se o aumento de cálcio (Ca) e enxofre (S), e redução da toxicidade de Al em camadas subsuperficiais, favorecendo o crescimento das raízes para explorar água e nutrientes (SUMNER et al., 1986; ROTH et al., 1986; VITTI et al., 2008).

O P é o nutriente que mais limita a produtividade agrícola no Brasil, devido ao material de origem dos solos brasileiros, pela forte interação do P com o solo (RAIJ, 1991) e pela sua precipitação com compostos de Al, ferro (Fe) e Ca (NOVAIS & SMYTH, 1999). Por esse motivo, os adubos fosfatados têm sido utilizados em maiores quantidades em solos tropicais. Embora exigido pelas plantas em menores quantidades, o

P é um elemento essencial e insubstituível, representando extrema importância para o desenvolvimento do sistema radicular (MALAVOLTA, 2006).

A principal fonte natural de P utilizada para a fabricação de fertilizantes fosfatados é a rocha fosfática. Devido às quantidades relativamente elevadas de P empregadas na adubação fosfatada, as reservas mundiais da rocha fosfática vêm diminuindo e isso tem sido motivo de grande preocupação, pois no futuro essas reservas poderão se esgotar. Com isso, há necessidade de se aprimorar a eficiência do uso de P na agricultura e o uso de gesso pode ser uma alternativa. Isso porque o gesso agrícola contém em sua composição aproximadamente 6,0 a 7,5 g kg⁻¹ de P₂O₅ (VITTI et al., 2008) e também porque o gesso favorece o crescimento radicular, aumentando a capacidade das raízes em explorar água e nutrientes (SUMNER et al., 1986; ROTH et al., 1986; VITTI et al., 2008).

Considerando que o uso de fertilizantes no Brasil representa alto custo para o agricultor, e que o P é o nutriente utilizado em maior quantidade na adubação, a hipótese desse trabalho é que o efeito residual da aplicação de gesso aumenta a disponibilidade de P no solo e melhora as condições químicas do subsolo, resultando em maior eficiência no uso de P pelas culturas de soja e trigo em plantio direto.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de: i) avaliar a disponibilidade de P e demais atributos no solo após a aplicação de doses de P no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total no sistema plantio direto; ii) avaliar a nutrição de P nas culturas de trigo e soja com a aplicação de doses de P no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total; iii) avaliar a produtividade de grãos de trigo e soja com a aplicação de doses de P no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. SISTEMA PLANTIO DIRETO

Durante as décadas de 1970 e 1980, um dos principais problemas relacionado à baixa produção de grãos no Brasil era o manejo inadequado do solo, devido ao uso do sistema de preparo intensivo e profundo do solo, por meio do emprego de arados e grades. O preparo intensivo do solo resultava em perdas de água e solo por erosão e na degradação da matéria orgânica do solo, culminando em perdas de nutrientes nas camadas superficiais do solo.

Diante desse cenário, no início da década de 1970 iniciou-se a adoção do sistema plantio direto (LOPES et al., 2004), o qual foi mais difundido a partir da década de 1990. O sistema plantio direto é caracterizado pelo não revolvimento do solo, exceto no sulco de semeadura, pela cobertura permanente e pela rotação de culturas (AMARAL et al., 2004). Esse sistema revolucionou o sistema produtivo devido à manutenção do potencial produtivo do solo, pois proporcionou melhorias na qualidade física, química e biológica do solo, com a redução de perdas de solo e nutrientes pela erosão, acúmulo de matéria orgânica, aumentando, assim, a retenção de água no solo e diminuindo a variação das temperaturas do solo ao longo do dia e da noite.

Os solos brasileiros, por serem altamente intemperizados, normalmente apresentam problemas relacionados com alta acidez, teores elevados de alumínio (Al) e manganês (Mn) (RAIJ, 2011), e baixos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P) (FAGERIA, 2001). A acidez dos solos brasileiros é considerada um dos fatores mais limitantes da produtividade das culturas, pois elevadas concentrações de Al juntamente com teores insuficientes de P na solução do solo dificultam o crescimento

radicular, diminuindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas (FARINA & CHANNON, 1988).

Na agricultura, a calagem é a principal prática utilizada para a correção da acidez do solo. A aplicação de calcário proporciona condições favoráveis para o crescimento do sistema radicular e melhora a absorção de água e de nutrientes pelas plantas (CANTARELLA, 1993). Porém, como a calagem no sistema plantio direto é realizada na superfície do solo sem incorporação, e como o calcário apresenta baixa solubilidade em água, a calagem superficial não apresenta efeito rápido na redução da acidez em camadas do subsolo. Na ocorrência de subsolos ácidos com baixa concentração de Ca e/ou alto teor de Al, o crescimento do sistema radicular e a nutrição das plantas podem ser severamente comprometidos, especialmente em condições de deficiência hídrica. Por isso, o uso de sais de Ca mais solúveis do que os carbonatos, como o gesso agrícola, pode compensar esse efeito mediante melhoria do ambiente radicular no subsolo, ao aumentar o teor de Ca e reduzir a atividade do Al em profundidade.

2.2. FÓSFORO

O P é um dos nutrientes mais limitantes da produção das culturas em solos tropicais e subtropicais. O P é absorvido do solo pelas raízes nas formas de íons HPO_4^{-2} e H_2PO_4^- , e apresenta problemas de limitação nos solos por causa da sua "fixação" em solos altamente intemperizados. Embora os solos tenham uma certa quantidade de P, apenas uma pequena fração desta é absorvida pelas culturas (RAIJ, 2004).

O P é um componente vital da célula, apresentando muitas funções nas plantas, pois estimula o crescimento e a formação do sistema radicular no início do

desenvolvimento da planta, sendo responsável pelo seu arranque, maturidade e formação das sementes. Dentro da célula existem funções que são características do P: ele influencia a utilização dos açúcares e amido; é um armazenador de energia; acelera a atividade das enzimas importantes no processo de respiração; e exerce influência no processo de fotossíntese (TAIZ et al., 2013).

2.2.1. Fósforo no solo

O P é o nutriente que mais limita a produção agrícola no Brasil devido sua baixa disponibilidade nos solos tropicais (Novaes e Smyth, 1999). Os solos brasileiros são carentes de P, sua concentração é extremamente baixa, normalmente entre 0,1 e 1%, em consequência do material de origem e da forte interação do P com o solo (RAIJ, 1991). Por isso, o P é o nutriente utilizado em maiores quantidades na adubação no Brasil (RAIJ, 2011).

O P se encontra no solo em duas principais formas: orgânica (Po) e inorgânica (Pi). A forma orgânica é originária dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (RHEINHEIMER et al., 2000 a). As principais formas já identificadas de Po são os fosfatos de inositol, que compõem de 10 a 80% o P orgânico total, os fosfolipídios (0,5 a 7%), ácidos nucléicos (~3%) e outros ésteresfosfato (>5%). O Pi ocorre em várias combinações com íons de Fe, Al, Ca, e outros cátions, conferindo ao P grande estabilidade estrutural e baixa concentração na solução do solo (DEITH et al., 2005). Ambas as formas (Po e Pi) são importantes fontes para o crescimento das plantas, mas suas disponibilidades são controladas pelas características do solo e pelas condições ambientais, as quais interferem, principalmente, na taxa de mineralização da fração orgânica pelos microrganismos (STEWART & TIESSEN, 1987).

Segundo Barber (1995), o P no solo pode ser dividido em quatro categorias: (i) P na forma iônica e em compostos na solução do solo o qual apresenta-se disponível para as plantas; (ii) P adsorvido nas superfícies dos constituintes minerais do solo; (iii) P adsorvido em minerais cristalinos e amorfos; e (iv) P componente da matéria orgânica do solo. O teor total de P no solo, na camada de 0-20 cm, pode variar de 100 a 4400 kg ha⁻¹ (MALAVOLTA, 2006). Porém, o seu suprimento natural é insatisfatório ao adequado crescimento das plantas, pois qualquer que seja a natureza do solo, a concentração de P na solução é extremamente baixa, normalmente entre 0,1 e 1%, dada a elevada tendência de remoção deste nutriente da solução, tanto por precipitação com compostos de Al, Fe e Ca, quanto por adsorção específica (NOVAIS & SMYTH, 1999).

No Brasil, os principais fertilizantes utilizados como fontes de P são os fosfatos totalmente acidulados (superfosfato simples e superfosfato triplo), os fosfatos de amônio (MAP - monoamônio fosfato e DAP - diamônio fosfato), os termofosfatos (termofosfato magnésiano), os fosfatos naturais importados reativos (fosfatos de Arad, Gafsa, Carolina do Norte, etc.) e nacionais (fosfatos de Araxá, Patos de Minas, etc.).

Adubos fosfatados, como os superfosfatos, apresentam alta concentração de P solúvel em água, sendo utilizados métodos específicos de purificação e concentração de matéria prima (rocha fosfática) por meio do emprego de ácidos (principalmente H₂SO₄ e H₃PO₄) para solubilização desse material (PROCHNOW et al., 2004). Esses fosfatos são considerados como de alta eficiência, pois, uma vez aplicados no solo, liberam grande parte do seu conteúdo em P, favorecendo a absorção pelas plantas (GOEDERT & SOUZA, 1984).

Em seu estado natural, o P está sempre associado com íons oxigênio na forma de ânion fosfatado PO₄³⁻, os quais são capazes de reagir com cátions H⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Fe³⁺ e

Al^{3+} . Quando as cargas são supridas por íons H^+ , existe a dinâmica do equilíbrio químico na forma de ácido fosfórico (H_3PO_4) e também em ânions ortofosfatados (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}) (RAIJ, 2004). Sendo assim, a relativa distribuição dessas três formas é dependente do pH do solo. As raízes das plantas absorvem íons P nas formas aniônicas de H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-} , sendo que a espécie H_2PO_4^- predomina em solos ácidos na faixa de pH entre 5,0 e 6,0, enquanto o HPO_4^{2-} passa a ser predominante em situações de pH mais elevado (acima de 6,0) (RAIJ, 2011). A suplementação mineral de P às plantas é determinada pela capacidade do solo em repor o P na solução do solo (poder tampão) e manejo da fertilização fosfatada, bem como pelas condições ambientais e do solo que afetam a biodisponibilidade de P e o crescimento das raízes (DEITH, 2005). A habilidade das plantas em 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). A liberação da fase sólida para a solução pode, ainda, aumentar ou diminuir, dependendo do pH, da temperatura do solo, da força iônica e também devido à síntese e exsudação de enzimas fosfatases (HAVLIN et al., 2005).

2.2.2. Fósforo na planta

Como o P é um nutriente de baixa mobilidade no solo ele é absorvido pela planta principalmente pela difusão (> 90%), sendo preferencialmente absorvido do solo pelas plantas como H_2PO_4^- , consequência não só do efeito do pH na abundância desta espécie iônica em solução, mas também do marcante decréscimo de absorção do nutriente com a elevação do pH da solução (RAIJ, 2011).

O fósforo participa de um grande número de compostos nas plantas, sendo um componente essencial do material genético, do núcleo, e da célula, desempenhando um importante papel nas plantas, uma vez que está fortemente ligado a inúmeros processos metabólicos, atuando também na formação de ligações de energia. Isso permite o armazenamento, a transferência e a liberação de energia dentro da planta através de compostos como o difosfato de adenosina (ADP) e o trifosfato de adenosina (ATP). A falta do P impede, conseqüentemente, a conversão de açúcar em amido e celulose, resultando na formação de antocianinas que se mostram como pontos ou raiax roxas nas folhas e nas hastes (TAIZ et al., 2013).

Diferentemente do que acontece em solos, o P apresenta alta mobilidade na planta, transferindo-se rapidamente de tecidos velhos para regiões de meristema ativo. Mesmo assim, a deficiência do elemento tem efeitos drásticos ao retardar o crescimento da planta. De maneira geral, os sintomas de sua carência não são marcantes, como ocorre para N e K, manifestando-se mais como parada do crescimento, decorrente da redução na divisão celular. Normalmente, os sintomas de carência de P aparecem em folhas mais velhas, as quais apresentam cor verde-escura. Em algumas plantas, ocorre coloração avermelhada nos talos, decorrente do aumento de antocianina. Sendo assim, seu suprimento deve ser adequado desde o início do desenvolvimento vegetal, pois é importante para a formação dos primórdios das partes reprodutivas, estimula o desenvolvimento radicular, sendo essencial para a boa formação de frutos e sementes, incrementando a produtividade (RAIJ, 2011).

No sul do Brasil, o P normalmente é aplicado por ocasião da semeadura da cultura de verão (grãos). Após sua dissolução, uma pequena parte permanece na solução, outra parte é incorporada na biomassa microbiana e a maior parte é incorporada na fração

inorgânica do solo (CARVALHO et al., 2010). Após ser absorvido pelas raízes da planta na solução do solo, o P é incorporado na fitomassa das plantas e nos grãos. Estes são removidos e o resíduo retorna ao sistema, com o nutriente permanecendo na solução e/ou sendo incorporado à fase sólida.

2.2.3. Adubação fosfatada e resposta das culturas

Embora exigido em quantidades menores do que o N e o K, o P é o nutriente que mais limita a produtividade das culturas na maioria dos solos não adubados.

A maior parte dos solos brasileiros são deficientes em P, consequentemente apresentam boa resposta a adubação fosfatada. Os efeitos das adubações fosfatadas sobre as culturas são especialmente acentuados em solos de baixa fertilidade natural nunca antes adubados. No entanto em solos já adubados, a deficiência de P ainda pode ser importante (RAIJ, 2011).

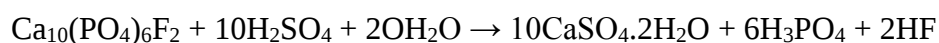
A resposta das culturas a adubação fosfatada varia em relação a cada cultura ou mesmo entre cultivares da mesma espécie, podendo ser algumas mais eficientes do que outras na absorção do nutriente do solo.

A suplementação de P na fase inicial do desenvolvimento das culturas é crucial na otimização da produção final (GRANT et al., 2005) pois 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 de desenvolvimento da planta, já que a mesma apresenta baixa capacidade de exploração do solo, garantindo assim um satisfatório desenvolvimento radicular. A soja absorve cerca de 8,4 kg de P para cada tonelada de grãos produzida, sendo mais exigente em relação às culturas de trigo e

milho, as quais requerem cerca de 4,3 e 6,9 kg P t⁻¹, respectivamente (MALAVOLTA, 1980). Sua deficiência no solo diminui o crescimento das plantas e o potencial de rendimento nos estádios reprodutivos iniciais, como o florescimento, pela menor produção e maior aborto de flores (AMADO et al., 2010). Dessa forma, respostas expressivas da soja, do milho e do trigo à aplicação de P têm sido observadas, resultando em maiores rendimentos de grãos com a utilização de fontes de maior solubilidade (GRANT et al; 2001; PRADO et al., 2001; CORRÊA et al., 2004; HARGER et al., 2007)

2.3. GESSO AGRÍCOLA

O gesso agrícola, conhecido também como fosfogesso (CaSO₄.2H₂O), é um subproduto obtido durante o processo de produção de ácido fosfórico, pelas indústrias de fertilizantes fosfatados (superfosfato triplo e fosfatos de amônio). O processo de obtenção do ácido fosfórico é originário da reação do ácido sulfúrico com a rocha fosfatada, sendo sua produção representada por (VITTI et al., 2008):



A produção anual estimada de gesso agrícola no Brasil corresponde a 4,5 milhões de toneladas, sendo que a cada 1000 kg de P₂O₅ produzido obtêm-se de 4 a 5 toneladas de gesso, e a cada 1000 kg de H₃PO₄ são obtidas 5,5 toneladas (VITTI et al., 2008). Sua utilização na agricultura deve-se, em grande parte, à descoberta de suas propriedades, pois excluindo-se a água, o gesso agrícola contém cerca de 950 g kg⁻¹ de sulfato de cálcio di-hidratado (MALAVOLTA et al., 1992), 150 g kg⁻¹ de S e 7,5 g kg⁻¹ de P₂O₅ (VITTI et al., 2008) em sua composição. O gesso agrícola pode servir como fonte de Ca, S e P quando o produto é utilizado em doses elevadas e também pode melhorar as condições

químicas do subsolo por meio de aumento no teor de Ca e redução na toxicidade do Al, favorecendo o crescimento radicular em profundidade.

O efeito do gesso agrícola na solução do solo ocorre através da hidrólise do sulfato de cálcio que se dissocia em $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{CaSO}_4^0$. Segundo Dias (1992), o íon Ca^{2+} fornecido pelo gesso pode reagir no complexo de troca do solo deslocando Al^{3+} , K^+ e Mg^{2+} para a solução do solo, os quais podem reagir com o sulfato (SO_4^{2-}) formando o complexo AlSO_4^+ (Al menos tóxico para as plantas) e os pares iônicos neutros K_2SO_4^0 , MgSO_4^0 e CaSO_4^0 que apresentam grande mobilidade no perfil do solo. Esses pares iônicos podem se deslocarem para as camadas mais profundas, resultando em melhor crescimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas, o que irá permitir que as plantas superem períodos de déficit hídrico e usem mais eficientemente os nutrientes aplicados ao solo (CARVALHO & RAIJ, 1997).

Vários trabalhos têm demonstrado eficiência do gesso na melhoria do ambiente radicular por meio de amenização dos efeitos da acidez no subsolo (RAPIM et al., 2011, CAIRES et al, 2001; SORATTO & CRUSCIOL, 2008a; 2008b) e aumento de Ca trocável nas camadas subsuperficiais. Movimentação de Mg trocável (CAIRES et al., 2001a; 2001b; 2003; 2004; 2011a,b) e pequeno aumento no pH do subsolo (CAIRES et al., 1999; 2006a) também têm sido observados após a aplicação de gesso. O aumento no pH do subsolo com uso de gesso tem sido decorrente do mecanismo denominado de “autocalagem” (reação de trocas de ligantes), no qual a hidroxila (OH^-) é substituída pelo SO_4^{2-} principalmente na superfície dos óxidos hidratados de Fe e Al.

Na nutrição das culturas, os resultados da aplicação de gesso têm sido variados, havendo relatos de alterações nos teores de nutrientes nos tecidos das plantas tanto em poáceas quanto em fabáceas, sendo mais comumente citados aumentos nos teores de Ca

e S (SORATTO & CRUSCIOL, 2008; SILVA et al., 1997) e diminuição nos teores de Mg nas folhas (CAIRES et al., 2003). A produtividade das culturas, por sua vez, também tem apresentado resultados variáveis à aplicação de gesso. A cultura do milho é a que tem apresentado maior frequência de aumento na produtividade de grãos em resposta à aplicação de gesso (CAIRES et al., 1999; 2004; 2011 a,b). Cereais de inverno, como o trigo e a cevada, também têm demonstrado ser responsivas à aplicação de gesso (CAIRES et al., 2001; RAMPIM et al., 2011). As fabáceas, como soja e feijão, têm apresentado menor frequência de resposta à adição de gesso. Raj et al., (1994) observaram resposta positiva da soja à aplicação de gesso agrícola, mas o aumento na produtividade de grãos da cultura foi pouco expressivo. Em outros estudos sem ocorrência de limitação hídrica (CAIRES et al., 2001; 2003; 2006a; 2011 a,b) não foram observadas alterações na produtividade de grãos de soja com a aplicação de gesso, porém a adição de gesso proporcionou melhoria na qualidade dos grãos (CAIRES et al., 2006a).

O uso de gesso também pode promover melhorias nos atributos físicos do solo, já que o íon Ca^{2+} apresenta ação flocculante. Roth & Pavan (1991) verificaram que a adição de gesso em um Latossolo Roxo distrófico de Londrina, promoveu aumento da infiltração de água no solo, diminuindo a argila dispersa na água escorrida. O mesmo foi observado por Barros et al. (2004) em solos salinos-sódicos submetidos à calagem e gessagem, os quais apresentaram aumento da permeabilidade e maiores taxas de infiltração e redistribuição de água decorrentes da maior agregação dos colóides.

2.4. USO ASSOCIADO DE FÓSFORO E GESSO AGRÍCOLA

Com o avanço da agricultura brasileira e com o aumento das produtividades, o produtor vem cada vez mais investindo na aplicação de fertilizantes, resultando em forte

demanda principalmente de adubos fosfatados. Em decorrência das quantidades relativamente elevadas de P empregadas na adubação, as reservas mundiais de rocha fosfática têm sido motivo de preocupação, pois no futuro essas reservas deverão se esgotar.

A associação do gesso com fertilizantes fosfatados pode contribuir para o aumento da eficiência de uso de P pelas plantas. Caires et al. (2003, 2011b) verificaram aumento no teor de P disponível na camada superficial do solo (0-5 cm) após aplicação de até 9 e 12 t ha⁻¹ de gesso, respectivamente. Fittipaldi (2006) constatou que a adição de gesso agrícola proporcionou maior teor de P disponível, principalmente no subsolo (20–40 cm). Além disso o uso de gesso associado ao adubo fosfatado irá favorecer o desenvolvimento do sistema radicular, ampliando a área de exploração das raízes no solo e, consequentemente, a eficiência de absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Diante dos dados levantados na literatura, é importante conhecer melhor os efeitos proporcionados pela interação do uso de gesso agrícola com a adubação fosfatada, visando aumentar a eficiência do uso de P em ambiente de alto rendimento de grãos sob sistema plantio direto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado no ano de 2013 em um Latossolo Vermelho textura argilosa (EMBRAPA, 2013) do município de Ponta Grossa, PR (25°03'23"S, 50°04'55"W e 972 m de altitude). Os resultados de análises químicas e granulométricas do solo, antes da instalação do experimento, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das análises químicas e granulométricas dos solos, antes da instalação do experimento.

Camada	pH (CaCl ₂)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P Mehlich-1	SO ₄ ²⁻ (¹)	C	V ⁽²⁾	m ⁽³⁾	Areia	Silte	Argila
Cm		-----	mmolc dm ⁻³	-----	-----	mg dm ⁻³	g.dm ⁻³		-----%	---	-----g kg ⁻¹	-----	
0 - 10	4,9	1	38	11	2,7	18,3	8,0	30	44	2	404	116	480
10 - 20	4,7	4	29	7	1,2	3,0	8,5	21	34	10	372	128	500
20 - 40	4,4	9	12	5	0,9	2,0	9,7	22	16	33	310	110	580
40 - 60	4,3	10	9	3	0,4	0,5	11,3	14	12	45	292	128	580

(¹)SO₄²⁻ = Enxofre na forma de sulfato extraído com solução de fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹; (²)V= saturação por bases; (³)m = saturação por alumínio.

A área experimental vinha sendo manejada há 10 anos no sistema plantio direto, com predominância da sucessão soja-trigo. Somente nos anos de 2007 e 2013 a área experimental foi cultivada com aveia preta para cobertura do solo. Em 12 de julho de 2013, antes da instalação das parcelas experimentais, foram aplicadas 2,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em área total sobre a superfície, visando a correção da acidez do solo.

O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, com verões frescos e ocorrência de geadas frequentes durante o inverno, sem a presença de estação seca bem definida (CAVIGLIONE et al., 2000). As temperaturas máximas e mínimas para a região são de 22°C e 13°C, respectivamente. A precipitação pluvial média anual é de 1.550 mm. A média histórica da precipitação pluvial (últimos

17 anos) e as ocorridas durante as safras de trigo (2015) e soja (2015–2016), em Ponta Grossa (PR), podem ser observadas na Figura 1.

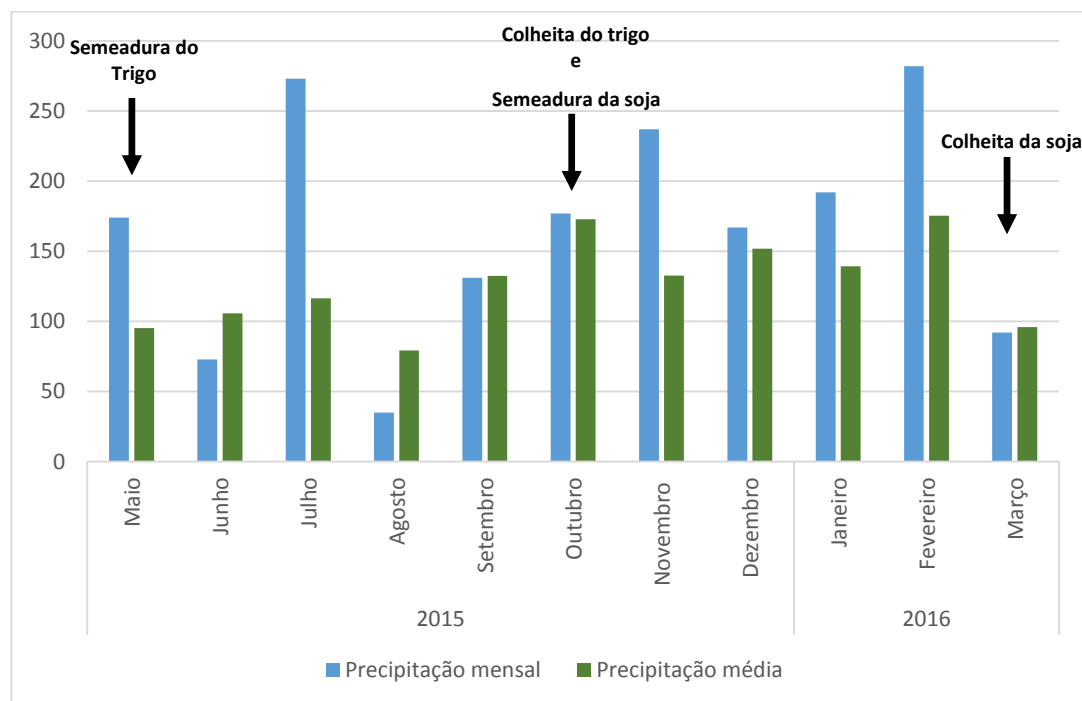


Figura 1 – Precipitação pluvial mensal ocorrida durante a realização do experimento no período de 2015 a 2016 e precipitação pluvial média mensal histórica (17 anos) da região de Ponta Grossa (PR).
Fonte: Deral (2015), Fundação ABC.

Considerando o período de desenvolvimento do trigo e da soja (Figura 1), observa-se a precipitação pluvial foi maior nos meses de maio, julho e novembro de 2015, e fevereiro de 2016. Já, os meses de menor precipitação pluvial mensal em relação à média histórica (17 anos) foram junho e agosto de 2015. Nos meses de setembro, outubro e dezembro de 2015, e de março de 2016, as médias de precipitação pluvial foram similares às da média histórica.

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas (180 m²) foram aplicadas quatro doses de P (0, 30, 60 e 90 kg P₂O₅ ha⁻¹) na forma de superfosfato triplo (SFT), no sulco de semeadura do trigo (2015), e da soja (2015-16), e nas subparcelas (45 m²), foram empregadas quatro doses de gesso agrícola (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹), a lançar sobre a superfície do solo, apenas no primeiro ano (na instalação do experimento), em outubro de 2013. O SFT (granulado) continha 460, 380 e 130 g kg⁻¹ de P₂O₅ total, P₂O₅ solúvel em água e CaO, respectivamente. O gesso agrícola (pó, in natura) continha 227 g kg⁻¹ de Ca, 181 g kg⁻¹ de S, 17 g kg⁻¹ de P₂O₅ e 152 g kg⁻¹ de água. Destaca-se que o gesso agrícola utilizado no estudo apresentou, em sua composição, teor de P₂O₅ superior ao que tem sido descrito na literatura: 6,0 a 7,5 g kg⁻¹ (VITTI et al., 2008).

3.3. SUCESSÃO DE CULTURAS

A sucessão de culturas do experimento foi: soja (2013–14), trigo (2014), soja (2014–15), trigo (2015) e soja (2015-16). Neste trabalho, avaliou-se o efeito residual da aplicação de gesso agrícola, após 33 meses, e os efeitos das doses de P aplicadas no sulco de semeadura do trigo, em 2015, e da soja, em 2015-2016.

O trigo (2015) cv. OR/Biotrigo Supera, foi semeado no dia 11 de maio de 2015. O espaçamento utilizado foi de 0,17 metros entre as linhas com densidade de semeadura de aproximadamente 350 sementes m⁻². Após cinco dias da semeadura, foi realizada adubação nitrogenada e potássica, aplicando-se a lançar 30 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de KCl. Em cobertura, aplicaram-se 70 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, no início do perfilhamento da cultura. O genótipo de trigo utilizado é de

ciclo precoce, levando de 60 a 70 dias da emergência ao espigamento, possui altura média de 0,84 m, é moderadamente resistente ao acamamento e apresenta alto potencial produtivo e alta qualidade industrial.

A semeadura da soja (2015-16), cv. Nidera 5909 RG, foi realizada em 27 de outubro de 2015, no espaçamento de 0,45 m entre as linhas e densidade de semeadura de 14 sementes m^{-1} . As sementes de soja foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum* (100 mL para 50 kg de sementes – 5×10^9 Ufc mL^{-1}) por ocasião da semeadura. Após a emergência das plântulas de soja foi realizada adubação potássica, aplicando-se em superfície e em área total, 100 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de KCl. O genótipo de soja utilizado é de ciclo semi-precoce e possui alto potencial produtivo, sendo um dos cultivares mais utilizados no Centro-Sul do Paraná.

O manejo e os tratos fitossanitários foram realizados em conformidade com as recomendações técnicas das culturas de modo a permitir o adequado desenvolvimento das plantas.

3.4. AVALIAÇÕES

3.4.1. Amostragem e análises químicas das plantas

Amostras de folhas foram coletadas no florescimento das culturas para fins de diagnose nutricional, retirando-se a folha bandeira do trigo, no estágio da antese, e o terceiro trifólio a partir do ápice da soja, no estágio R2, em 30 plantas de cada subparcela. A produção de matéria seca (MS) e o acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas foram avaliados na maturidade fisiológica das culturas – trigo apresentando consistência

de grãos em massa pastosa e soja em estágio R6. Para isso, coletou-se 1,0 m linear de plantas de trigo e soja, somente a parte aérea, de cada subparcela.

As amostras de folhas para a diagnose nutricional e as da parte aérea das plantas foram lavadas com água deionizada, secas em estufa a 60°C, moídas em moinho com malha de 1,0 mm e armazenadas em embalagens plásticas até a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme os métodos descritos em Malavolta et al. (1997). A extração dos nutrientes pela parte aérea das plantas de trigo e soja foi calculada multiplicando-se a concentração de cada nutriente pela MS correspondente.

Após a maturidade fisiológica, o trigo e a soja foram colhidos em uma área útil de 6,0 m² de cada subparcela e trilhados em máquina debulhadora estacionária, determinando-se o rendimento de grãos a 130 g kg⁻¹ de umidade.

3.4.2. Amostragem e análises químicas do solo

Amostras de solo foram coletadas após colheita da soja, em 2015-16, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade. Para constituir uma amostra composta, foram retiradas, de cada subparcela, 15 subamostras com trado calador das camadas de 0-10 e 10-20 cm, e cinco subamostras com trado holandês, das camadas de 20-40 e 40-60 cm. Após a coleta, as amostras foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 40°C e passadas em peneira com malha de 2 mm. Foram determinados o pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, os teores de Al, Ca e Mg, por meio de extração com solução de KCl 1 mol L⁻¹, de P disponível e K trocável, por extração com solução de Mehlich-1 (PAVAN *et al.*, 1992) e de S-SO₄²⁻, por extração com solução de fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹ (CANTARELLA & PROCHNOW, 2001).

3.5. FATOR PARCIAL DE PRODUTIVIDADE DE FÓSFORO

Para as culturas de trigo e soja, calculou-se o fator parcial de produtividade do P com base na metodologia de Fageria et al. (1998), considerando-se as doses de P aplicadas nos tratamentos sem gesso e com 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de gesso, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{FPPP (kg kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Produção de grãos (kg ha}^{-1}\text{) com P}}{\text{Dose de P aplicada (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

3.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão. Equações de regressão por polinômios ortogonais foram ajustadas aos dados obtidos em função das doses de gesso e de P aplicadas. Na ausência de interação significativa entre doses de P × doses de gesso, foram consideradas as médias das observações. No caso de interação significativa entre os tratamentos, realizou-se os desdobramentos. Foram consideradas somente as equações de regressão significativas a 5%. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio da utilização do programa Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

4.0 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

O pH do solo não foi influenciado significativamente pelas doses de P e de gesso. O teor de P no solo aumentou linearmente na camada superficial do solo (0-10 cm) e apresentou comportamento quadrático nas camadas de (10-20 e 20-40 cm), com o aumento das doses de P (Tabela 2). Esse aumento de P no solo era esperado devido à ausência de revolvimento, decomposição de resíduos orgânicos e aplicação de fertilizantes fosfatados (SELLES et al., 1997). Resultados semelhantes foram observados por Galetto (2016) e Corrêa et al. (2004), os quais justificaram esse aumento pela capacidade de adsorção de P diminuir com o aumento de sua concentração no solo.

Com o aumento das doses de P, os teores de SO_4^{2-} diminuíram na camada de 0-10 cm e aumentaram nas camadas de 10-20 e 20-40 cm (Tabela 2). Isso ocorreu devido ao aumento de fosfato decorrente da adubação fosfatada, o qual é fortemente adsorvido pelos óxidos de Fe e Al, deslocando SO_4^{2-} para as camadas mais profundas (RAIJ, 1991). Galetto (2016) avaliando o mesmo experimento e avaliando um Latossolo Vermelho Amarelo observou aumento de SO_4^{2-} em todas as camadas avaliadas do solo (0-60 cm).

Os teores Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ apresentaram diferenças significativas na camada mais profunda (40-60 cm), sendo que as doses de P aumentaram linearmente os teores de Ca^{2+} , reduziram linearmente os teores de Mg^{2+} , e aumentaram os teores de K^+ conforme o modelo quadrático (Tabela 2).

O aumento do teor de Ca^{2+} na camada mais profunda deve ter ocorrido devido ao seu deslocamento no perfil acompanhando o SO_4^{2-} liberado na camada superficial do solo pela adubação fosfatada. Destaca-se que o superfosfato triplo utilizado continha cerca de

93 g kg⁻¹ de Ca em sua composição. A diminuição de Mg²⁺ no solo pode ter ocorrido pela formação do complexo MgSO₄⁰ decorrente do aumento de sulfato no subsolo proveniente da camada superficial com a adubação fosfatada. O efeito das doses de P no aumento de K⁺ no subsolo (40-60 cm) foi de pequena magnitude e pode ter sido consequência de maior ciclagem de K⁺ proporcionado pela maior produção de biomassa decorrente da adubação fosfatada.

Tabela 2- Alterações nos atributos químicos do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, após a aplicação de doses de fósforo no sulco de semeadura.

P- P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	pH CaCl ₂	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	SO ₄ ²⁻
-----mmol _c dm ⁻³ -----mg dm ⁻³ -----							
Camada de 0-10 cm							
0	4,9	1,1	43,2	20,4	2,8	11,9	12,5
30	4,9	0,6	40,5	20,4	2,8	13,4	7,9
60	5,0	0,1	47,4	24,0	3,1	15,3	8,1
90	4,9	1,0	45,3	20,8	3,2	22,2	5,8
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	L**	L*
CV (%)	3,1	148,1	13,0	17,8	24,2	19,7	34,7
Camada de 10-20 cm							
0	4,4	8,7	19,6	14,2	1,6	3,4	8,4
30	4,4	10,1	17,9	12,3	1,6	2,9	12,6
60	4,5	8,7	23,4	14,5	2,0	3,4	11,7
90	4,4	10,3	20,6	12,2	2,0	5,0	17,5
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	Q**	L**
CV%	6,4	16,4	19,7	11,7	21,8	23,3	24,6
Camada de 20-40 cm							
0	4,3	13,8	13,5	11,8	1,1	1,6	21,0
30	4,3	13,6	12,8	9,8	1,1	2,0	17,8
60	4,4	12,5	15,2	13,8	1,5	1,4	25,2
90	4,3	14,6	13,3	12,1	1,2	1,2	28,5
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	Q**	L**
CV%	5,2	11,9	16,5	25,2	22,6	20,3	25,98
Camada de 40-60 cm							
0	4,4	12,4	10,2	14,8	0,6	0,4	31,2
30	4,3	12,5	10,3	12,6	0,6	0,4	27,2
60	4,4	12,3	12,5	12,7	0,8	0,4	38,9
90	4,3	12,9	11,3	11,2	0,7	0,4	36,9
Efeito	ns	ns	L*	L**	Q*	ns	ns
CV%	4,3	16,8	14,4	15,0	10,4	31,3	26,2

L= efeito linear por análise de regressão; Q = efeito quadrático por análise de regressão; ns = não significativo; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Os efeitos das doses de gesso, após 33 meses da aplicação, nos atributos químicos do solo, em diferentes profundidades, são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3- Alterações nos atributos químicos do solo nas camadas de 0-10, 10-20,20,40 e 40-60 cm, após 33 meses da aplicação de doses de gesso agrícola.

Gesso (t ha ⁻¹)	pH CaCl ₂	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	SO ₄ ²⁻
		-----mmol _c dm ⁻³ -----				-----mg dm ⁻³ ----	
Camada de 0 - 10 cm							
0	4,9	0,8	38,9	21,5	3,1	13,2	8,3
2	5,0	0,4	45,5	21,4	2,8	13,8	8,4
4	5,0	0,6	43,7	22,2	2,9	17,6	8,6
6	4,9	1,0	48,3	20,6	3,1	18,2	9,0
Efeito	ns	ns	L**	ns	ns	L**	ns
CV (%)	3,92	123,7	13,5	17,7	13,55	22,33	24,65
Camada de 10 - 20 cm							
0	4,4	11,0	18,8	13,5	1,9	3,1	10,9
2	4,4	8,8	20,4	13,2	1,9	3,0	11,2
4	4,5	8,8	21,3	13,0	1,6	4,9	12,8
6	4,5	9,1	20,9	13,4	1,8	3,9	15,1
Efeito	ns	Q*	L*	ns	ns	L**	L**
CV%	2,2	17,4	13,7	22,7	17,6	19,6	16,9
Camada de 20 - 40 cm							
0	4,3	14,6	12,0	11,9	1,1	1,6	19,1
2	4,3	13,1	13,6	12,4	1,3	1,7	16,9
4	4,3	14,1	12,9	11,5	1,3	1,5	29,3
6	4,4	12,8	16,2	11,8	1,2	1,4	27,3
Efeito	ns	ns	L**	ns	ns	ns	L**
CV%	2,0	14,2	17,1	16,6	19,6	25,4	21,1
Camada de 40 - 60 cm							
0	4,3	13,0	9,8	12,3	0,6	0,4	24,7
2	4,3	12,3	10,3	13,3	0,7	0,5	22,3
4	4,3	12,3	11,7	13,3	0,9	0,4	42,1
6	4,4	12,5	12,5	12,5	0,7	0,4	45,2
Efeito	ns	ns	L**	ns	Q**	ns	L**
CV%	1,6	14,2	14,6	16,3	19,6	26,7	18,3

L= efeito linear por análise de regressão; Q = efeito quadrático por análise de regressão; ns = não significativo; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Com o aumento das doses de gesso houve redução no teor de Al³⁺ na camada de 10-20 cm. Esse efeito reforça a ocorrência de troca iônica de Al³⁺ por Ca²⁺, o qual desloca o Al³⁺ para a solução do solo podendo ser imobilizado pelo SO₄²⁻ (PAVAN et al., 1984).

Os teores de Ca^{2+} no solo aumentaram no perfil do solo com as doses de gesso aplicadas (Tabela 3). Em outros estudos foram observados resultados semelhantes (PAULETTI et al., 2014; RAMPIM et al 2011; GALETTO, 2016; CAIRES et al. 2011b), sendo a movimentação de Ca^{2+} no perfil do solo decorrente da infiltração da água no solo após a formação de par iônico com o SO_4^{2-} (CaSO_4^0). Esse efeito do gesso é considerado de grande importância para as plantas, especialmente em períodos de deficiência hídrica, devido à baixa mobilidade de Ca^{2+} na planta, e pela sua absorção ocorrer quase que exclusivamente pela coifa da raiz (PAULETTI et al., 2014).

Com o incremento das doses de gesso houve também aumento nos teores de P nas camadas superficiais do solo, especialmente na de 0–10 cm (Tabela 3). O aumento de P no solo com a aplicação de gesso agrícola ocorre em razão da presença de resíduo de P na composição do gesso agrícola. Em outros estudos também foram observados aumentos de P na camada superficial do solo após a aplicação de doses relativamente altas de gesso agrícola (CAIRES et al., 2003, 2011b). Vale ressaltar que, no presente estudo, o gesso utilizado continha alto teor de P_2O_5 como impureza em sua constituição (17 g kg^{-1}).

As doses de gesso não ocasionaram alterações significativas nos teores de SO_4^{2-} da camada superficial (0-10 cm), mas aumentaram os teores de SO_4^{2-} nas camadas subsuperficiais (10-20, 20-40 e 40-60 cm). O aumento de SO_4^{2-} com as doses de gesso ocorreu em maior magnitude na medida em que se aumentou a profundidade do solo. A elevada movimentação do SO_4^{2-} no perfil do solo deve ter sido ocasionada pelas condições de baixa acidez juntamente com a maior concentração de P nas camadas mais superficiais (MASCHIETTO, 2009). Resultados semelhantes foram obtidos por Caires et al. (2011 a,b), Rampim et al. (2011), Oliveira et al. (2007) e Galetto (2016).

O teor de K^+ na camada de 40-60 cm aumentou com as doses de gesso conforme o modelo quadrático (Tabela 3). Esse efeito pode ter ocorrido devido à maior ciclagem K

com o uso de gesso, seguida de movimentação pela formação de KSO_4^- (CAIRES et al., 2006a, 2011b).

4.2. DIAGNOSE FOLIAR DAS CULTURAS DE TRIGO E SOJA

As doses de P aumentaram linearmente as concentrações de P, S, e Ca nas folhas de trigo (Tabela 4) e não ocasionaram alterações significativas nas concentrações de nutrientes nas folhas de soja (Tabela 5).

Tabela 4 - Concentrações de nutrientes nas folhas de trigo, em 2015, considerando a aplicação de fósforo no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Fe	Zn
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----				
P-P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)										
0	41,4	3,0	21,5	2,8	1,5	2,3	6,0	76,6	237,4	39,6
30	41,0	3,4	24,1	3,0	1,6	2,5	7,1	78,4	252,3	41,1
60	42,2	3,3	22,7	3,2	1,7	2,5	5,4	78,5	239,6	39,1
90	40,0	3,3	23,0	3,3	1,6	2,6	7,4	78,1	249,9	39,8
Efeito	ns	L*	ns	L*	ns	L*	ns	ns	ns	Ns
CV (%)	5,3	6,8	9,0	14,7	10,5	12,0	22,9	23,2	9,6	7,7
Gesso (t ha ⁻¹)										
0	42,2	3,3	22,5	2,8	1,7	2,3	6,6	77,1	241,4	40,9
2	41,0	3,2	22,7	3,1	1,6	2,4	5,8	77,6	240,5	38,7
4	39,3	3,3	23,0	3,1	1,6	2,4	6,8	77,8	254,3	40,8
6	42,0	3,1	23,1	3,3	1,5	2,6	6,7	79,1	242,9	39,2
Efeito	ns	ns	ns	L**	L**	L*	ns	ns	ns	Ns
CV (%)	6,8	8,3	8,6	9,8	6,0	10,0	12,8	13,7	10,7	9,4

L= efeito linear por análise de regressão; ns = não significativo; ** p < 0.01; * p < 0.05.

As doses de gesso aumentaram linearmente as concentrações de Ca e S, e reduziram, e forma linear, a concentração de Mg nas folhas de trigo (Tabela 4). As concentrações de nutrientes nas folhas de soja não foram alteradas significativamente pelas doses de gesso (Tabela 5).

Tabela 5 - Concentrações de nutrientes nas folhas de soja, em 2015/2016, considerando a aplicação de fósforo no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Fe	Zn
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----				
P-P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)										
0	61,3	3,5	29,1	10,1	4,0	3,3	37,6	58,8	112,0	53,2
30	57,6	3,9	29,1	11,0	4,2	3,5	33,6	53,9	115,6	50,1
60	62,5	4,0	29,6	10,7	4,0	3,4	38,5	62,4	110,0	58,5
90	60,8	3,8	29,7	10,8	4,2	3,2	34,7	57,2	111,1	49,3
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns
CV (%)	5,5	11,8	10,9	9,3	9,2	8,8	13,9	13,0	19,2	20,5
Gesso (t.ha ⁻¹)										
0	61,3	3,7	30,1	10,3	4,3	3,4	36,6	57,1	114,8	55,0
2	59,6	3,8	29,3	10,6	4,1	3,4	35,3	62,2	108,5	49,3
4	61,5	3,8	28,6	10,7	4,0	3,3	36,0	55,4	110,1	52,2
6	59,8	3,8	29,6	10,9	4,0	3,3	36,5	57,8	115,3	54,5
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4,9	7,2	5,8	9,3	7,8	9,7	3,0	8,5	11,1	11,0

L= efeito linear por análise de regressão; ns = não significativo; ** p < 0.01; * p < 0.05.

As concentrações dos nutrientes nas folhas de trigo e soja se mantiveram dentro das classes de teores consideradas adequadas para o desenvolvimento dessas culturas (MALAVOLTA, 2006; PAULETTI, 2004). Os aumentos nos teores de P, Ca e S nas folhas de trigo devem ter sido consequência do aumento nas concentrações desses nutrientes no solo e/ou do maior crescimento radicular da cultura em resposta à adubação fosfatada. O aumento na concentração de Mg no tecido foliar do trigo com as doses de P aplicadas deve ter sido ocasionada pelo efeito sinérgico entre o P e o Mg. Em outros estudos realizados com poáceas também foi constatado que a elevação da disponibilidade de P no solo aumenta a absorção de Mg (REINBOTT & BLEVINS 1991; SALAQUE et al., 2001 e CARVALHO E NASCENTE, 2014 et al., 2001 e CARVALHO E NASCENTE, 2014).

Os aumentos nos teores de Ca e S nas folhas de trigo com as doses de gesso certamente foram ocasionados pelo aumento nos teores desses nutrientes no solo, considerando que o gesso é fonte de Ca e S. A redução na concentração foliar de Mg do trigo com as doses de gesso deve ter sido ocasionada pela movimentação de Mg para as camadas mais profundas do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Los Galetto (2016), Caires et al. (2011c) e Rampim et al. (2011) com a aplicação de gesso na cultura do trigo.

4.3. EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES

As doses de P causaram diminuição na extração de Fe, enquanto as doses de gesso aumentaram a extração de P, S e Cu pela cultura do trigo (Tabela 6). A redução na absorção de Fe pela cultura do trigo com as doses de P aplicadas deve ter ocorrido em razão da forte interação do fosfato com Fe no solo. O aumento na extração de P e S pela cultura do trigo com as doses de gesso deve ter sido consequência da presença de P e S na composição do gesso, salientando-se que o gesso utilizado no presente estudo continha alto teor de P em sua composição ($17 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$). As doses de gesso também aumentaram a extração de Cu pela cultura do trigo e esse efeito deve ter ocorrido pela presença de Cu, como impureza, na composição do gesso agrícola. Carvalho et. al. (2012) observaram que o gesso agrícola pode conter cerca de 19 mg kg^{-1} de Cu em sua composição.

Na cultura da soja, as doses de P aumentaram a extração de K, Fe e Zn, e as doses de gesso aumentaram a extração de P, Ca, S e Fe (Tabela 7). O aumento na extração de K com as doses de P aplicadas deve ter ocorrido pelo maior crescimento das plantas decorrente da adubação fosfatada. Os incrementos na extração de Fe e Zn com o aumento

nas doses de P devem ter ocorrido devido à presença desses micronutrientes no superfosfato triplo: 717 mg kg⁻¹ de Fe e 43 mg kg⁻¹ de Zn (CARVALHO et al., 2012). Em vários trabalhos também foram observados incrementos na absorção de Ca e S (CAIRES et al., 2011b; RAMPIM et al., 2011; GALETTO, 2016) e de P (CAIRES et al., 2003) pela soja com a aplicação de gesso. O aumento na extração de Fe pela cultura da soja com as doses de gesso aplicadas deve ter sido ocasionado pela presença de Fe, como impureza, na composição do gesso agrícola. Carvalho et. al. (2012) detectaram que o gesso agrícola pode apresentar 2357 mg kg⁻¹ de Fe em sua composição.

Tabela 6 - Extração de nutrientes pela cultura do trigo, em 2015, considerando a aplicação de fósforo no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----kg ha ⁻¹ -----					-----g ha ⁻¹ -----				
P-P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)										
0	71,3	5,5	115,0	11,7	5,8	6,3	34,7	1574,0	632,8	90,9
30	72,4	6,1	118,3	11,0	5,2	6,0	31,1	1109,0	603,8	84,6
60	78,9	7,0	122,0	12,6	5,6	6,9	30,7	995,3	511,8	78,7
90	91,4	6,7	119,2	13,9	5,1	7,1	29,9	1125,3	631,6	73,6
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Q**	ns	ns
CV (%)	31,0	34,7	24,76	28,11	27,7	40,1	32,9	17,94	22,5	31,3
Gesso (t ha ⁻¹)										
0	80,3	5,4	108,5	12,1	5,2	5,7	28,0	1337,2	543,2	73,8
2	76,7	6,2	123,2	11,3	5,4	6,4	31,8	1075,6	551,0	82,5
4	74,2	6,8	112,7	12,3	5,2	6,8	31,7	1127,6	641,3	86,1
6	82,8	7,0	130,0	13,6	5,9	7,4	34,9	1263,1	644,6	85,4
Efeito	ns	L*	ns	ns	ns	L*	L*	ns	ns	ns
CV (%)	19,0	27,9	28,6	27,46	18,6	29,0	19,1	31,3	36,0	25,7

L= efeito linear por análise de regressão; Q = efeito quadrático por análise de regressão; ns = não significativo; * p < 0.05.

Tabela 7 - Extração de nutrientes pela cultura da soja, em 2015/2016, considerando a aplicação de fósforo no sulco de semeadura e de gesso agrícola em área total.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g.kg ⁻¹ -----					-----mg.kg ⁻¹ -----				
Fósforo - P ₂ O ₅ (kg.ha ⁻¹)										
0	212,9	18,5	196,8	52,8	32,8	11,8	28,9	924,9	221,3	175,8
30	199,2	15,1	196,7	57,6	35,2	12,1	15,9	1296,7	184,3	160,9
60	242,9	19,2	237,5	58,7	37,8	13,1	25,6	1363,6	244,9	176,2
90	240,0	21,0	248,5	65,2	37,9	13,2	30,1	1420,4	208,6	228,6
Efeito	ns	ns	L*	ns	ns	ns	Q**	L**	ns	Q**
CV (%)	21,7	27,96	20,2	23,5	17,6	23,1	22,6	25,7	31,1	13,2
Gesso (t.ha ⁻¹)										
0	201,0	15,9	202,3	50,8	32,5	9,5	23,9	1102,8	206,9	183,3
2	238,7	18,1	229,0	61,6	37,9	14,8	24,8	1291,3	243,9	182,7
4	217,5	17,1	213,2	54,9	35,9	11,8	24,3	1164,2	196,1	181,9
6	237,8	22,6	235,1	66,9	37,5	14,2	27,5	1447,4	212,3	193,4
Efeito	ns	L*	ns	L*	ns	Q*	ns	L*	ns	ns
CV (%)	20,9	33,7	21,3	23,5	18,3	18,5	27,3	26,3	28,5	21,7

L= efeito linear por análise de regressão; Q = efeito quadrático por análise de regressão; ns = não significativo; ** p < 0.01; * p < 0.05.

4.4. PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE TRIGO E SOJA

A produtividade de grãos de trigo, safra 2015, não foi influenciada significativamente pela interação entre doses de P × doses de gesso. O incremento das doses de gesso aumentou de forma linear o rendimento de grãos de trigo, com um ganho de 74,5 kg ha⁻¹ de grãos para cada tonelada de gesso aplicada, esse aumento foi na ordem de 21,8% no rendimento de grãos obtendo a máxima produtividade de 2495 kg ha⁻¹ (Figura 2a). Vários trabalhos vêm demonstrando respostas positivas da aplicação de gesso na produção de trigo, Pauletti et al. (2014) em um estudo de longo prazo no sistema plantio direto, verificaram resposta linear (p < 0,10) na produtividade de trigo com o aumento de doses de gesso, obtendo produtividade de 3400 kg ha⁻¹ com a aplicação de 12 t ha⁻¹ de gesso, já Michalovicz (2012) obteve máximo rendimento de grãos de trigo,

de 4500 kg ha⁻¹, com a aplicação de 5,8 t ha⁻¹ e Caires et al. (2002) encontraram maior produtividade de trigo, de 3825 kg ha⁻¹, com a aplicação de 8,2 t ha⁻¹ de gesso. Esse aumento de produtividade ocorre devido a melhor nutrição das plantas de trigo ocasionado pelo aumento do sistema radicular (Galetto, 2016) e da melhoria dos recursos disponíveis no solo com a aplicação do gesso agrícola.

O aumento das doses de P não apresentaram alterações estatísticas para o rendimento de grãos de trigo, tendo-se obtido rendimento médio de 2271 kg ha⁻¹ de grãos (Figura 2b). Certamente o teor médio de P trocável no solo, na camada de 0-10 cm (18,3 mg dm⁻³) (Tabela 1) foi suficiente para atender a demanda de P da cultura do trigo, sendo que o limite crítico de P segundo Vieira et al. (2015) para a cultura do trigo na camada de 0-10 cm é de (11,2 mg dm⁻³) e na camada de 0-20 cm é (8,2 mg dm⁻³). Trabalhos realizados em solos de alta acidez e pobres em P têm apresentado resultados significativos com o aumento das doses de adubos fosfatados, Freitas et al. (2000) obteve incremento de 910 kg ha⁻¹ com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Oliveira et al. (1984) em um solo hidromórfico obtiveram aumento de 1340 kg ha⁻¹ com a dose de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Já em solos com médios teores de P, Vieira et al. (2015) obtiveram incremento de 7,3 kg de grão para cada kg de P₂O₅ aplicado, e Galetto (2016) obteve incremento de 9,8 kg de grão para cada kg de P₂O₅ aplicado, obtendo uma produtividade máxima de 4987 kg ha⁻¹.

A produtividade de grãos de soja, em 2015/2016, não foi influenciada pelas doses de P e de gesso e pela interação entre doses de P × doses de gesso (Figura 3). Schwade et al. (2015) e Cavalli et al. (2015), avaliando doses de P (0, 30, 60 e 90 kg P₂O₅ ha⁻¹), também não encontram diferenças significativas na produtividade de soja. Já, Batistella Filho et al. (2013) encontraram respostas positivas da soja em duas safras avaliadas, com o aumento de doses de P até 160 kg P₂O₅ ha⁻¹, observando incrementos de 435 kg ha⁻¹ na primeira safra e de 1069 kg ha⁻¹ na segunda safra.

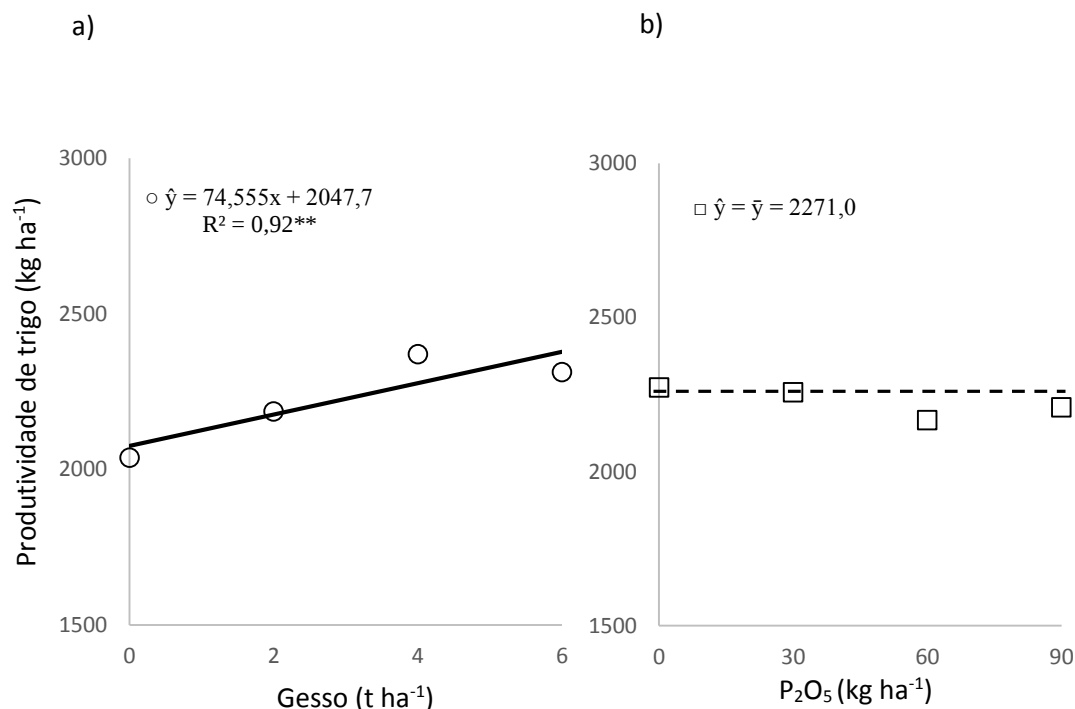


Figura 2. Produtividade de grãos de trigo no ano agrícola de 2015, em função das doses de gesso agrícola (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹) na superfície (a) e a aplicação de fósforo (□ = efeito médio das doses 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅) no sulco de semeadura (b). ** p<0.01 e *p<0.05.

A falta de resposta da soja à adubação fosfatada observada no presente estudo deve estar relacionada ao fato de o P no solo estar acima do limite crítico estabelecido para a cultura da soja cultivada sob plantio direto na região Centro-Sul do Paraná, considerando as camadas de 0–10 cm (7,5 mg dm⁻³) e de 0-20cm (6,2 mg.dm⁻³) (VIEIRA et al., 2015).

Em relação à aplicação de gesso, em vários outros trabalhos também não foram encontraram diferenças na produtividade de soja com o incremento de doses de gesso (CAIRES et al., 1999, 2003, 2006a; RAMPIM et al., 2011, NOGUEIRA & MELO, 2003; GUEDES JÚNIOR, 2017). Aumentos significativos na produtividade de grãos de soja com a adição de gesso foram observados em outros estudos em que ocorreram estiagens durante o ciclo de desenvolvimento da cultura no campo (PAULETTI et al., 2014,

ZANDONÁ et al., 2015, SOUSA et al., 2005). No presente estudo, a produtividade de soja não foi influenciada pela aplicação de gesso certamente porque não houve limitação hídrica durante o desenvolvimento da cultura da soja (Figura 1).

Os resultados de produtividade de trigo e soja em resposta à doses de P e de gesso obtidos no presente trabalho concordam com as observações de outros estudos nos seguintes aspectos: (i) os cereais são mais responsivos à aplicação de gesso do que a soja (CAIRES et al., 2011a,b,c) e (ii) a resposta da soja à aplicação de gesso somente deve ocorrer na presença de limitação hídrica durante o desenvolvimento da cultura no campo (PAULETTI et al., 2014, ZANDONÁ et al., 2015, SOUSA et al., 2005).

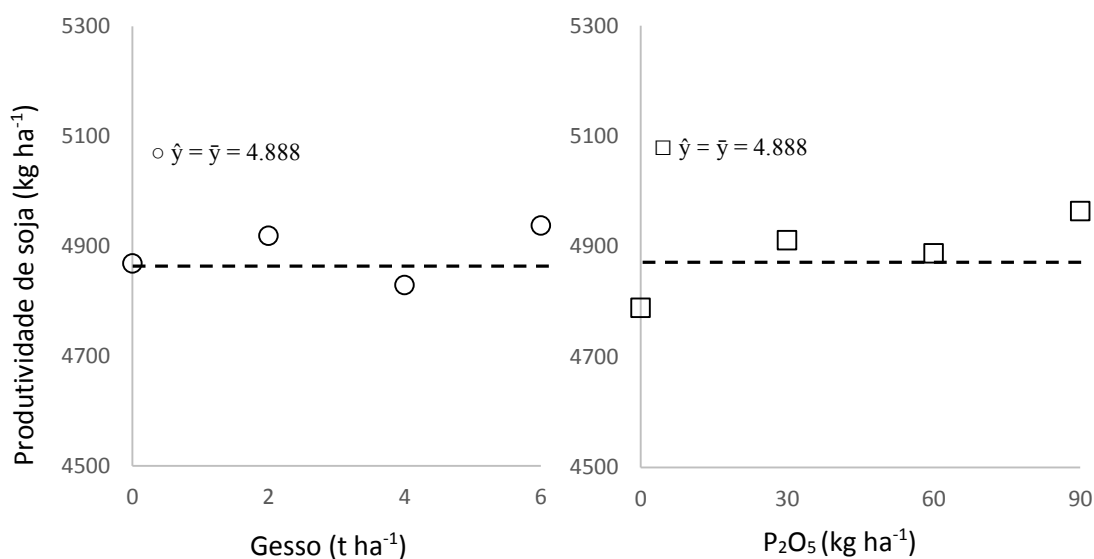


Figura 3. Produtividade de grãos de soja, em 2015/2016, considerando a aplicação de fósforo (○ = efeito médio das doses 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅) no sulco de semeadura e de gesso agrícola (□ = efeito médio das doses 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹) em área total.

4.5. FATOR PARCIAL DE PRODUTIVIDADE DE FÓSFORO

O fator parcial de produtividade de P (FPP_P) foi calculado pela relação entre a produtividade de grãos numa determinada dose de P e a quantidade de P aplicada. A menor dose de P (30 kg ha⁻¹ de P₂O₅) foi a que resultou em maior FPP_P em ambas as culturas avaliadas (trigo e soja), tendo ocorrido redução no FPP_P com o aumento das doses de P aplicadas (Tabela 8). No geral, o aumento da dose de 30 kg P₂O₅ ha⁻¹ para 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ reduziu o FPP em 52% para o trigo e 50% para a soja, e o aumento de 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ para 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ ocasionou redução de 32% no FPP_P em ambas as culturas. A redução do FPP_P com o incremento nas doses de P já era uma resposta esperada em função da lei dos incrementos decrescentes. Porém, as doses de gesso agrícola não influenciaram o FPP_P do trigo e da soja. Como o FPP_P é um fator que permite avaliar a eficiência de uso de P, os resultados mostraram que a aplicação de gesso não alterou a eficiência de uso de P pelas culturas de trigo e soja. Portanto, a resposta do trigo à aplicação de gesso não foi ocasionada por melhoria na eficiência de utilização de P pelas plantas.

Tabela 8 – Fator parcial de produtividade de fósforo nas culturas de trigo e soja em função das doses de fósforo e de gesso agrícola.

Fósforo - P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Gesso (t ha ⁻¹)				Efeito
	0	2	4	6	
Cultura do trigo					
30	73,4 a	71,8 a	81,2 a	74,6 a	ns
60	31,8 b	36,6 b	36,0 b	40,1 b	ns
90	24,6 b	21,9 c	27,8 b	23,8 c	ns
Cultura da soja					
30	161,7 a	168,5 a	162,6 a	162,0 a	ns
60	80,5 b	81,6 b	80,7 b	83,1 b	ns
90	54,7 c	54,2 c	54,3 c	57,4 c	ns

ns = não significativo. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p = 0,05).

5. CONCLUSÕES

1. O efeito residual da aplicação de gesso agrícola na superfície e a adubação fosfatada no sulco de semeadura ocasionam melhoria nos atributos químicos do solo, aumentando P nas camadas superficiais e Ca^{2+} e SO_4^{2-} no subsolo.
2. O incremento das doses de P aplicadas no sulco de semeadura aumentou o teor de P nas folhas de trigo.
3. O efeito residual da aplicação de gesso agrícola na superfície aumentou a extração de P nas culturas de trigo e soja.
4. A cultura do trigo é mais responsiva do que a cultura da soja à aplicação de gesso.
5. O efeito residual do gesso no aumento da produtividade de trigo não é ocasionado por melhoria na eficiência de utilização de P pelas plantas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: **Soja – Manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre, Editora Evangraf, 2010, 243 pág.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, L.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, n. 1, p. 115-123, 2004.
- BARBER, S. A. Mecanismos de absorção de fósforo sob condições de estresse ambiental. In: Simpósio Internacional Sobre Estresse Ambiental, 1. Belo Horizonte. 1992, **Anais**. Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. p.233-237.
- BARROS, M.F.C.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ V, V.H.; RUIZ, H.A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazidas e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. V.8, n.1, p. 59-64, 2004.
- BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; CRUZ, M. C. P.; CENTURION, M. A. P. C.; SYLEVESTRE, T. B.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 783-790, 2013.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G; GARBUIO, F. J; KUSMAN, M. T. Alterações químicas no solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, v.63, p.370-379, 2006a.
- CAIRES, E. F.; CORRÊA, J. C. L.; CHURKA, S.; BARTH, G; GARBUIO, F. J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, 63:502-509, 2006b.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 357-364, 2002.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v.59, p. 357-364, 2002.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v.60, p. 213-223, 2001.
- 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**, v. 23, 315-327, 1999.

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

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 1, 2004.

CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Scientia Agricola**, v.68, p.209-216, 2011b.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, 1993. p.147-196.

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A., eds. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: IAC, p.225-230, 2001.

CARVALHO, M. C. S.; NASCENTE, A. S. Calcário, gesso e efeito residual de fertilizantes na produção de biomassa e ciclagem de nutriente de milheto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 44, n. 4, p. 370-380, 2014.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoil for root growth. **Plant and Soil**, Oordrecht, v. 192, p. 37-48, 1997.

CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; Managing grazing animals to achieve nutriente cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p. 259-273, 2010.

CARVALHO, V. G. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Potencial de Fertilizantes e corretivos no aporte de micronutrientes ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.36, p.931-938, 2012.

CAVALLI, C.; LANGE, A.; CAVALLI, E.; SANTOS, P. H.; BALEN, A. B.; WRUCK, F. J. Doses de fósforo em superfície na cultura da soja em solo com fertilidade em construção. In: XXXV **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. SBCS. Natal. 2015.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Janeiro 2016**. Brasília: CONAB, v.3, 2016. 154p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 20 out. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Março 2017**. Brasília: CONAB, v.4, 2016. 176p.

Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_14_15_28_33_boletim_gaos_marco_2017bx.pdf>. Acesso em: 20 out. 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**, v.39, p. 1231-1237, 2004.

COSTA, H. M. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean-oat-sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 119-132, 2016.

DEITH, L. G. et al. Soil and fertilizer sources of plant nutrients. Management of Wisconsin Soils A3588, **Fifth Edition**, chapter 9, 2005, p. 87.

DERAL. **Precipitações Pluviométrica Regional 2015**. Disponível em <www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pluvio.xls> Acesso em 23 set.2017.

DIAS, L. E. Uso de gesso como insumo agrícola. Seropédica, **Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia - CNPBS**, 1992. 6p. (Comunicado Técnico 7).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, nov. 2001.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p. 6-16, 1998.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration.II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.175-180, 1988.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciencia e Agrotecnologia**, v.38, p.109-112, 2014.

FITTIPALDI, W. L. S. L. **Sistemas de cultivo e gesso nas características químicas do solo e produtividade de milho consorciado com braquiária**. Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Marília (Dissertação de Mestrado), 2006. 51p.

FREITAS, J. G.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, C. E. O.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; PETTINELLI JÚNIOR, A.; RAMOS, V. J.; FELICIO, J.C. Resposta ao calcário e ao fósforo de genótipos de trigo com diferentes tolerâncias ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 557-566, 2000.

FUNDAÇÃO ABC. **Monitoramento: Estações Agrometeorológicas**. Disponível em: <<http://sma.fundacaoabc.org/monitoramento/grafico/mensal>>. Acesso em 23 set. 2017.

GALETTTO, S. L.; **Eficiência da adubação fosfatada influenciada pela aplicação de gesso agrícola em sistema plantio direto**. Ponta Grossa, 2016. 203p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Ponta Grossa.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. **Anais**. Brasília: EMBRAPA, 1984. p.206-255. (Documentos,14).

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 81 p. 211-224, Canada, 2001.

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**, 85:3-14, 2005.

GUEDES JÚNIOR, F. A. **Gesso agrícola: Efeitos no crescimento radicular e no rendimento de grãos da soja**. Cascavel 2017, 73p. Dissertação (Mestrado). Universidade do Oeste do Paraná.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina**, v.28, p. 39-44, 2007.

HAVLIN, J.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; **Soil fertility and fertilizers: na introduction to nutriente management**. 7 ed., New Jersey: Prentice Hall, 2005.

JONES, C.; JACOBSEN, J. Plant nutrition and soil fertility. In: **Nutrient Management Module**, No.2. Nutrient Manegement a self-study course from MSU Extension Continuing Education Series. Montana State University, dec. 2001. 4449-2

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452p.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual. Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v.46, p. 237-260, 1995.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. Nitrogênio In: **Sistema de Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 110p, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Ceres, São Paulo-SP, n.1,631p., 2006.

MALAVOLTA, E. O fósforo na agricultura brasileira. In: **IPT. Tecnologia de fertilizantes fosfatados**. São Paulo, p. 189-206, publicação especial, 1980.

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta - perguntas e respostas. In: II SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA. **Anais...** Uberaba, p.41-66, 1992.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Especificações dos Fertilizantes Minerais Simples**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/altera-anexo-i-da-in-46-2016-em-31-05-17-altera-carbonato-de-manganes-e-fosfito-de-cobre.pdf>> Acesso em: 27 out. 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n. 261, 22 de dezembro de 2015. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de trigo de sequeiro no Estado do Paraná**. p. 12.

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**. Ponta Grossa, 2009. 58p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Ponta Grossa.

MICHALOVICZ, L. **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto**. Guarapuava, 2012. 52p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO-PR.

MORAES, M. F.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; COSCIONE, A. R. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.673-684, 2007.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 399p., 1999.

OLIVEIRA, O. F.; CAMARGO, C. E. O.; RAMOS, V. J. Efeito do fósforo sobre os componentes de produção, altura das plantas e rendimento de grãos, em trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 43, n. 1, p. 31-44, 1984.

OLIVEIRA, P.S.R.; FITTIPALDI, W.L.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, P.R.; GUALBERTO, R.; GUIMARÃES, A.M. Efeitos de tipos de preparo do solo e uso de gesso agrícola sobre as características químicas e produtividade de milho e braquiária em cultivo consorciado. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.6, n.1-2, p.53- 65, 2007.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretação**. 2.ed. Castro: Fundação ABC, 2004. 86p.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 83-90, 2001.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, p. 1007-1012, 2004.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C. & CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Potafos, 2004. p.605-663.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres/Potafós, 1991, 343p.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba-SP, 420 p., 2011.

RAIJ, B. Van. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S., (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004.

RAIJ, B. Van; MASCARENHAS, H. A. A.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; IGUE, T. & SORDI, G. Efeito de calcário e de gesso para soja cultivada em Latossolo Roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:305-312, 1994.

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

REINBOTT, T. M.; BLEVINS, D. G. Phosphorus and temperature effects on magnesium, calcium, and potassium in wheat and tall fescue leaves. **Agronomy Journal**. Madison. v. 86, n. 3, p. 523-529, 1994.

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

RICHART, A.; KAEFER, J. E.; DAGA, J.; NOZAKI, M. H.; MENON, R. Desempenho do trigo em resposta a aplicação de termofosfato. **Synergismus scyentifica UTFPR**. Pato Branco. v. 4, 2009, 3p.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355-362, 2003.

ROTH, C. H.; PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; MEYER, B.; FREDE, H. G. Efeito das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 163-166, 1986.

ROTH, C.H. & PAVAN, M.A. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v. 48, p.351-361, 1991.

SALAUQUE, M. A.; ABEDIN, M. J.; AHMED, Z. U.; HASAN, M.; PANAULLAH, G. M. Influences of phosphorus deficiency on the uptake of nitrogen, potassium, calcium, magnesium, sulfú, and zinc in lowland rice varieties. **Journal of Plant Nutrition**. New York. v. 24, n. 10, p. 1621-1632, 2001.

SCHWADE, S.; GALLO, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; OLIVEIRA, D. R.; MELEM JUNIOR, N. J.; SANTOS, D. B. Avaliação da produtividade da soja sob diferentes doses de fósforo na região de Santarém-PA. In: XXXV **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. SBSCS. Natal. 2015.

SELLES, F.; KOCHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; ZENTNER, R. P.; FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. **Soil Tillage & Research**, v. 44, p. 23-34, 1997.

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, n. 2, p.389-401, 1997.

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, MG, v. 32, p. 675-688, 2008a.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 261-270, 2008b.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Uso do gesso em solos do Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa, 2005. (Circular técnica, 32).

STEWART, J. W. B. & TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry** 4: 41-60, Dordrecht, 1987.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 879 p.

VIEIRA, R. C. B.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; MORAES, P.; CARNIRL, E. Adubação fosfatada para alta produtividade de soja, milho e cereais de inverno cultivados

em rotação em Latossolos em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 794-808, 2015.

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

WERNER, J. C.; MONTEIRO, F. A. Respostas das pastagens à aplicação de enxofre. In: BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (Ed.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/USBCE, p. 87-102, 1988.

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**. V. 45, p.128-137, 2015.

ZHANG, W.; LIU, D.; LI, C.; CUI, A.; CHEN, X.; RUSSELL, Y. Zinc accumulation and remobilization in winter wheat as affected by phosphorus application. **Field Crops Research**, Article in press, 2015.