

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

GEAN MARCOS MERTEN

**MODOS DE APLICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO E A
RESPOSTA DAS CULTURAS DO TRIGO E FEIJOEIRO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2020

GEAN MARCOS MERTEN

**MODOS DE APLICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO E A
RESPOSTA DAS CULTURAS DO TRIGO E FEIJOEIRO**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Alfredo Richart

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2020

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

Merten, Gean Marcos

Modos de aplicação e distribuição de fósforo no solo e a resposta das culturas do trigo e feijoeiro Título da dissertação / Gean Marcos Merten; orientador(a), Paulo Sérgio Rabello de Oliveira; coorientador(a), Alfredo Richart, 2020.

49 f.

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

1. Nutrição. 2. Produtividade. 3. Extração. 4. Exportação. I. Rabello de Oliveira, Paulo Sérgio . II. Richart, Alfredo . III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



GEAN MARCOS MERTEN

Modos de aplicação e distribuição de fósforo no solo e a resposta das culturas do trigo e feijoeiro

Dissertação apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO pela seguinte banca examinadora:

Orientador - Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

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

Edmar Soares de Vasconcelos

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

Martios Ecco

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR - Toledo)

Neumário Vilanova da Costa

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 21 de agosto de 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Mauren Sauer a quem sempre me apoiou e me impulsionou a progredir em minha carreira acadêmica e em segundo não menos importante minha mulher, Ana Gabriela Uzueli Dizzarz a qual sempre esteve ao meu lado durante todo o Mestrado.

À instituição, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, aos professor em especial ao meu orientador prof. Dr Paulo Sérgio Rabello de Oliveira e ao meu coorientador prof. Dr. Alfredo Richart, além dos diversos professor da UNIOESTE a qual me auxiliaram durante este importante progresso de aprendizado.

Agradeço a Pontifícia Universidade Católica juntamente com meu coorientador aos quais me cederam o espaço para desenvolver meu experimento, como também a utilização dos laboratórios para as análises laboratoriais

Aos meus colegas que me auxiliaram durante todo o desenvolvimento do projeto, Mayra Martins, Daniel Seidel, Wilian Kaefer entre outros.

Agradeço a Capes pela bolsa de pesquisa.

Agradeço ao Doutor Elisiario Mendes 'in memoria', pela minha criação e por eu ser o que sou hoje.

Agradeço a Deus, por não ter me permitido falhar nessa missão

*“As oportunidades multiplicam-se à medida que são agarradas.”
Sun Tzu*

RESUMO

MERTEN, Gean, M. S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Agosto – 2020. **INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO E AS RESPOSTAS DAS CULTURAS DO TRIGO E FEIJOEIRO**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Coorientador: Prof. Dr. Alfredo Richart

O fósforo é encontrado em vários processos metabólicos nas plantas, como na fotossíntese, respiração, transferências de genes e processos que envolvem transferência de energia, sendo indispensável para um bom desenvolvimento das culturas e para atingir o máximo do potencial, sendo assim o modo de aplicação deste nutriente pode ser uma forma para ganhos de produtividade de acordo com cada cultura. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho das culturas do trigo e do feijoeiro sob diferentes modos de aplicação de fertilizante fosfatado além de avaliar a distribuição de fósforo na profundidade de 0 – 20 cm, em três modos de aplicação do fertilizante nas duas culturas em Latossolo Vermelho Distroférico, com alto teor de fósforo. Para as culturas foi utilizado um delineamento de blocos ao acaso, com os tratamentos constituídos por três modos de aplicação do fertilizante fosfatado (100% aplicado à lanço, 100% aplicado na linha de semeadura e 50% aplicado à lanço e 50% na linha de semeadura), com cinco repetições. Como fonte de fósforo foi utilizado o superfosfato triplo (41% de P_2O_5), aplicando as doses de 115 e 250 kg ha⁻¹ do fertilizante, respectivamente nas culturas do trigo e do feijoeiro respectivamente e de acordo com a exportação de nutrientes das culturas. Para o solo foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso em esquema de parcelas sub-subdivididas no espaço, sendo o modo de aplicação a parcela, local (linhas e entre linhas) a subparcela e as profundidades de amostragem (0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20 cm) a sub-subparcela, sendo as coletas realizadas em sete pontos de cada parcela nas duas culturas de trigo e feijoeiro em sucessão. No momento da colheita de trigo, foram avaliados os componentes de rendimento, para o trigo mediu-se a altura de planta, massa de mil grãos e produtividade, e para o feijoeiro, número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade. A primeira coleta de solo foi realizada após a colheita do trigo, sendo realizadas as amostragens de solo para quantificar os teores de fósforo acrescentados ao solo. As amostras de solo foram coletadas em sete pontos por parcela, sendo quatro nas entrelinhas e três nas linhas de semeadura, em linha reta em cada parcela, o mesmo procedimento foi realizado após o cultivo do

feijoeiro. Os modos de aplicação do fósforo não proporcionaram incrementos sobre os componentes de rendimento das culturas. Os maiores teores de fósforo foram observados na camada superficial do solo 0 – 5 cm, porém sem efeito dos modos de aplicação sendo assim a aplicação do fertilizante fosfatado pode ser realizada tanto a lanço como em sulco de semeadura quando for constatado no solo alto teor de fósforo

Palavras-chave: Nutrição. Produtividade. Extração. Exportação. Mobilidade.

ABSTRACT

MERTEN, Gean, M. S., Western Paraná State University – UNIOESTE, August, 2020. **INFLUENCE OF THE DIFFERENT MODES OF APPLICATION OF PHOSPHORUS IN THE SOIL AND THE RESPONSES OF WHEAT AND BEAN CROPS.** Advisor: Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Co-advisor: Prof. Dr. Alfredo Richart.

Phosphorus is found in a variety of metabolic processes in plants, such as in photosynthesis, respiration, gene transfers and processes which involve energy transfer, being indispensable for a good development of cultures and to reach the maximum potential, so the method of application of this nutrient can be a way for productivity gains according to each culture. The objective of this study was to evaluate the performance of wheat and common bean crops under different modes of application of phosphate fertilizer, as well as to evaluate the distribution of phosphorus at a depth of 0 – 20cm, in three modes of application of fertilizer in the two cultures in Red Latosol Dystrophic, with high phosphorus content. For the cultures, a randomized block design was used, with treatments consisting of three modes of application of phosphate fertilizer (100% applied to the haul, 100% applied to the sowing line and 50% applied to the haul and 50% to the sowing line), with five repetitions. Triple superphosphate (41% P₂O₅) was used as a phosphorus source, applying the doses of 115 and 250 kg ha⁻¹ of the fertilizer in the wheat and bean crops respectively and according to the export of nutrients from the crops. For the soil, a randomized block design was used in a split plot layout, with the being the application method the plot, local factor (lines and between lines) the sub-plot and the sampling depth (0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20 cm) the sub-subplot, with collections being made at seven points of each plot in the two wheat and bean crops in succession. At the time of wheat harvest, yield components were evaluated, for wheat, plant height, mass of a thousand grains and productivity were measured, and for beans, number of pods per plant, mass of a thousand grains and productivity. The first soil collection was carried out after the wheat harvest, with soil sampling being performed to quantify the levels of phosphorus added to the soil. The soil samples were collected at seven points per plot, four between the lines and three in the sowing lines, in a straight line in each plot, the same procedure was performed after the cultivation of beans. The modes of application of phosphorus did not increase the yield components of the cultures. The highest levels of phosphorus were observed in the superficial layer of the soil 0 – 5cm, but without

effect of the application modes, so the application can be carried out both in the sowing furrow and when it is found in the soil high phosphorus content.

Keywords: Nutrition. Productivity. Extraction. Exportation. Mobility.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados médios para altura e os componentes de rendimento do trigo altura de planta (ALP), massa de mil grão (MMG) e produtividade em função dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado aplicado em Latossolo Vermelho Distroférico no município de Toledo, região oeste do Estado do Paraná.....	24
Tabela 2 - Resultados médios para os componentes de rendimento do feijoeiro número de vagens por planta (NVP), massa de mil grão (MMG) e produtividade em função dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado aplicado em Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, região oeste do estado do Paraná.....	27
Tabela 3. Resumo da análise de variância para os teores de P e médias no solo em função dos modos de aplicação (sulco e lanço), local de amostragem (linha e entrelinha) e profundidade de coleta de amostras de um Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, região oeste do estado do Paraná.....	39
Tabela 4. Teores de P no solo em função dos modos de aplicação (sulco e lanço) e local de amostragem (linha e entrelinha) de um Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, região oeste do estado do Paraná.....	41
Tabela 5. Teores de P no solo em função dos locais de amostragem (linha e entrelinha) e as profundidades de coleta de amostras de um Latossolo Vermelho distroférico de Toledo, região oeste do estado do Paraná.....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. FÓSFORO NO SOLO	14
1.2. FÓSFORO NA PLANTA.....	15
1.3. MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO.....	16
1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	17
2. CAPÍTULO 1 – MODOS DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE FOSFATADO NO TRIGO E FEIJOEIRO CULTIVADOS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO DE TOLEDO.....	20
2.1. INTRODUÇÃO	22
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.2.1. Local do Experimento.....	23
2.2.2. Delineamento Experimental	24
2.2.3. Avaliações realizadas no trigo e feijoeiro	26
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
2.4. CONCLUSÕES	31
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
3. CAPÍTULO 2 – TEORES DE FÓSFORO NO SOLO EM FUNÇÃO DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE FOSFATADO EM DUAS CULTURAS EM SUCESSÃO	35
3.1 INTRODUÇÃO	37
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.2.1 Local do Experimento.....	38
3.2.2 Delineamento Experimental.....	38
3.2.3 Coleta de Amostras de Solo	39
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.4 CONCLUSÕES	45
3.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA.....	45

1. INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros, de maneira geral possuem características peculiares com relação a agricultura, pois seus nutrientes são lixiviados em virtude de predominar clima tropical e característica do solo, assim, na utilização do solo para produção agrícola em larga escala há a necessidade de aplicação de fertilizantes para suprir o solo de macro e micronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas (SILVERO et al., 2007)

A adoção do Sistema de Plantio direto (SPD) em vez do preparo convencional (PC), surge como uma alternativa para diminuir a baixa disponibilidade de fósforo (P) nos solos brasileiros (CASALI et al., 2016). Isso está ligado ao fato de que sistemas que não revolvem o solo utilizando aração e gradagem apresentam maior teores analíticos de fósforo (P) na superfície (COSTA et al., 2009).

No entanto, a alta disponibilidade do P como também do potássio (K) podem ocorrer em camadas superficiais do solo na condição de SPD, isso ocorre principalmente pela aplicação de fertilizantes em superfície ou em pequenas profundidades, do calcário em superfície, da ausência de revolvimento do solo, da manutenção e ciclagem de nutrientes e de perdas menores por erosão (PAVINATO; CERETTA, 2004)

A busca por incremento das produtividades de culturas como soja, trigo, feijão, milho entre outras, tem proporcionado diversas pesquisas relacionadas e eficiência do P, como diferentes modos de aplicação no solo, fontes, doses, metodologias analíticas para quantificar o P na solução do solo (BARBOSA et al., 2015; CASTRO et al., 2016; FIORIN et al., 2016; NUNES et al., 2011).

O P é um nutriente necessário a formação do meristema radicular (CUNHA et al., 2009), aumentando a capacidade de absorção do nutriente (GRANDT et al., 2001). Por isso, verifica-se maior produção de matéria seca de raízes quando do aumento das doses de P (CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004).

O P entra em contato com as raízes preferencialmente por difusão e por isso o posicionamento do fertilizante fosfatado poderá fazer diferença para que se tenha sucesso para atender as necessidades das culturas (LOPES, 1999).

A adubação em qualquer sistema de produção possuem maior eficiência quando não há restrições químicas, físicas e biológicas, evidenciando a necessidade da correção prévia da acidez do solo (ALTMANN, 2012).

1.1. FÓSFORO NO SOLO

O P é liberado naturalmente nos solos pela alteração intempérica do mineral apatita, pouco abundante na crosta terrestre. O comportamento do P nos solos é complexo, após sua liberação pelo intemperismo, na forma de íon fosfato (PO_4^{3-}), ele se associa tanto as frações minerais como as orgânicas, quando aplicado na forma de fertilizante em formas mais solúveis do que a apatita natural, e o P liberado é em grande parte, indisponibilizado para aproveitamento das plantas, pois sofre adsorção aos minerais de ocorrência natural nos solos tropicais, além de reagir com íons cálcio (Ca^{2+}) presentes nos solos aumentando sua absorção pelas plantas (SILVERO et al., 2007)

A baixa eficiência dos adubos fosfatados nos solos brasileiros está ligada devido aos fenômenos de adsorção de P, sendo reflexo das cargas superficiais, pH baixo e principalmente pela proporção relativa de óxidos de Fe e Al, caulinita e matéria orgânica dos solos (BALIGAR; FAGERIA, 1997). Bem como durante a dissolução dos fertilizantes fosfatados, quando os produtos de solubilidade atingem valores elevados, ocorre precipitação de P com formas iônicas de alumínio (Al) e de ferro (Fe) em solos ácidos (SAMPLE et al., 1980).

A quantidade de P adsorvido à superfície dos óxidos de Fe e Al depende desses óxidos no solo, porém as possíveis perdas por precipitação do íon fosfato está relacionado ao pH do solo. Devido aos solos intemperizados naturalmente ácidos, os íons fosfato combinam com íons Fe^{+3} , Al^{+3} e Mn^{+3} , levando a produtos de baixa solubilidade vindos da reação de precipitação (KURIHARA; HERNANI, 2011)

Em solos ácidos, com altos teores de Fe^{+3} e Al^{+3} , pode ocorrer maior formação dos fosfatos de ferro e alumínio e redução da disponibilidade de P para as plantas (SANDIM, 2012)

A limitação da absorção de P pelas plantas não está ligado apenas a alta adsorção do elemento aos óxidos de ferro e alumínio, mas também com a difusão, pois ela é o principal mecanismo de transporte de P no solo até as raízes (COSTA et al., 2006), o processo de difusão é influenciado por diversos fatores, tais como: interação fósforo-colóide, conteúdo volumétrico de água no solo, distância do P aplicado das raízes, teor do elemento e temperatura do solo (CASTRO et al., 2016)

1.2. FÓSFORO NA PLANTA

A principal característica do P é a baixa mobilidade no solo e alta mobilidade nas plantas, sendo móvel no floema e redistribuído rapidamente para drenos ou órgãos novos da planta (SFREDO, 2008).

O P está diretamente ligado a vários processos metabólicos nos vegetais, como fotossíntese, respiração, transferência de genes e processos que envolvem transferência de energia (STAUFFER; SULEWSKI, 2003). Além, de participar da síntese de macromoléculas e da absorção ativa de nutrientes (MARSCHENER, 1995), ou seja, é responsável pelo fornecimento de energia para as reações metabólicas e biossintéticas (SFREDO, 2008)

O P é o maior constituinte dos núcleos das células das plantas, sendo assim sempre há necessidade de suprimento, para divisão celular, essencial ao crescimento da planta e absorção de água e nutrientes (DEITH; ANDERSON; HOFFMANN, 2005). Além do P ser fundamental para os processos fisiológicos da planta, também está diretamente relacionado ao processo de enchimento de grãos (PAULETTI; MOTTA, 2017).

A nutrição adequada das culturas além de depender do fertilizante a base de P, também está relacionada à habilidade de absorção do P pelas plantas a qual varia dependendo de cada espécie/cultivar (HORN et al., 2006). Plantas deficientes em P possuem alta quantidade de carboidratos nas raízes, devido o ATP ser exigido nas conversões enzimáticas, degradando o carboidrato, fonte de desenvolvimento das raízes (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

Sua importância se destaca devido a interação com outros elementos, afetando a disponibilidade no solo e para nutrição vegetal (BLEVINS, 1999). Plantas com deficiência de P apresentam sinais gerais de deficiência nutricional, pois o ATP é exigido nos processos que envolvem a absorção de nutrientes, além do P ser essencial para o desenvolvimento das raízes, sendo assim ocorrendo a restrição de P no início do ciclo vegetativo, as limitações vão ocorrer em toda evolução da cultura não podendo ser reparadas (GRANT et al., 2001).

O processo para absorção de nutrientes possui gasto energético, portanto depende de moléculas com características específicas de armazenamento de energia, como ATP e NADPH que possuem o P como principal constituinte de suas estruturas. Com isso os teores de P contidos na planta possuem relação direta com a própria

absorção e com os demais nutrientes, tornando-se um nutriente crucial para a sanidade da planta e qualidade do produto gerado (TAIZ; ZEIGER, 2017).

1.3. MODOS DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO

A importância de procurar estratégias para tornar o P acessível a planta, assim otimizando o uso dos fertilizantes fosfatados a fim de manter a fertilidade do solo tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores (GICHANGI et al., 2009; BARBOSA et al., 2015; PAVINATO; CERETTA et al., 2004).

Nos últimos anos, os modos mais discutidos na literatura são a aplicação a lanço e localizada no sulco de semeadura. A adubação a lanço faz com que quase 100% do fertilizante fique em contato com o solo, aumentando a adsorção de P e reduzindo a absorção pelas plantas (TEIXEIRA et al., 2013). Para diminuir a adsorção a adubação fosfatada deve ser realizada de forma localizada, assim como consequência uma pequena porção do sistema radicular entra em contato com o fósforo proveniente do fertilizante (MALAVOLTA, 1981).

A aplicação a lanço de P no solo sem incorporação tem sido aderida por empresários rurais, devido a um maior rendimento operacional na produção, pois com esse modo de aplicação não é necessário interromper o trabalho da semeadora para abastecer com fertilizantes, proporcionando maior agilidade. Esse sistema de produção tem sido mais utilizado em regiões onde é realizada a segunda safra (safrinha), reduzindo o tempo de semeadura em ambas as safras (BARBOSA et al., 2015).

Além de que, esta forma de manejo de adubação favorece maior utilização da água pela cultura antes do final da estação chuvosa (NUNES, 2011). Por isso, para escolha do modo de aplicação do fertilizante fosfatado, deve-se pensar nos aspectos agrônômicos, econômicos e operacionais (FIORIN; VOGEL; BORTOLOTTI, 2016).

Quando realizada aplicação a lanço em solos com teores de P acima do teor crítico, a probabilidade de resposta das culturas é muito baixa ou ausente, obviamente não se tem observado perda de produtividade (PAVINATO; CERETTA, 2004), porém, quando os teores de P estão abaixo do teor crítico, a produtividade tem sido menor que em áreas onde o fertilizante foi aplicado na linha de semeadura (NUNES et al., 2011).

Conforme Castro et al. (2016), respostas positivas com adubação fosfatada a lanço foram encontradas em áreas com altos teores de P disponível, nessas áreas as produtividades foram semelhantes à aplicação de P a lanço ou em sulco de semeadura. Sousa; Rein (2011), verificaram que em solos cultivados com SPD consolidado, recomenda-se a adubação fosfatada na linha de semeadura, especialmente em solos disponibilidade de P abaixo do nível crítico na camada arável do solo

1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2006. p. 251-280.

BALIGAR, V. C. & FAGERIA, N. K. **Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency**. In: Moniz, AC.; Furlani, AM.C.; Schaffert, RE.; Fageria, N.K.; Rosolem, C.A. & Cantarella, H. (eds). Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Campinas, Brazilian Soil Science Society, 1997. p.75-95

BARBOSA, N. C; ARRUDA, E. M.; BROD, E.; PEREIRA, H. S. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 1, p. 87-95, 2015.

BLEVINS, D. G. Why plants need phosphorus. **Better Crops**, Norcross, Georgia, v. 83, n. 2, p. 29-30, 1999

CASALI, C. A.; TIECHER, T.; KAMISNKI, J.; SANTOS, D. R.; CALEGARI, A.; PICCIN R. **Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo**. UTFPR, 2016.

CASTRO, G. F.; MOREIRA, S. G.; SOUSA, S. S.; VITOR, C. M. T. Adubação fosfatada a lanço em culturas anuais sob sistema de semeadura direta. **Revista agroambiental**, Pouso Alegre, v.8, n.4, p. 117-129, dez 2016.

COELHO, J. L. D. **Critérios de seleção de máquinas e implementos agrícolas para a cultura do milho**. In: FANCELLI, A.L. & DOURADO-NETO, D., eds. Tecnologia da produção de milho. Piracicaba, Publique, 1997. p.1-9.

COSTA S.; SOUZA, E. D.; ANGHINONI, I., FLORES J. P. C; CAO E. G; HOLZSCHU H. M. J. Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long-term tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 33, p.1237-47, 2009.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n. 4, p. 828-835, 2006.

FIORIN, J. E.; VOGEL, P. T.; BORTOLOTTI, R. P. Métodos de aplicação e fontes de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.11, n.2, p.92-97, 2016.

GICHANGI, E. M.; MNKENI, P. N. S.; BROOKES, P. C. Effects of goat manure and inorganic phosphate addition on soil inorganic and microbial biomass phosphorus fractions under laboratory incubation conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 55, n. 6, p. 764-771, 2009.

GRANT, C. A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, 2001

HORN, D.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 77-85, 2006.

KURIHARA, C. H.; HERNANI, L. C. **Adubação antecipada no Sistema Plantio Direto**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 45 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 108).

LOPES, A. S. Fosfatos naturais. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 65-66.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 594p

MARSCHNER, H.; Mineral nutrition of higher plants. London: **Academic Press**, 1995. 889p.

NUNES, R. D. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p. 877-888, 2011.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Eficiência agrônômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.623-631, 2008.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Sociedade Brasileira Ciência do Solo – Núcleo Estadual Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1779-1784, 2004.

POTTKER, D. Aplicação de fósforo no sistema plantio direto. **Embrapa Trigo, Boletim de Pesquisa**, v.2.Passo Fundo: Embrapa, 1999. 32p.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. **Reactions of phosphate fertilizers in soils**. In: Khasawneh, F.E.; Sample, E.C. & Kamprath, E.J. (eds). The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.263-310.

SANDIM, A. S. **Disponibilidade de fósforo em função da aplicação de calcário e silicatos em solos oxídicos**. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu.2012.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: Calagem, adubação e nutrição mineral**. 2008. Londrina: Embrapa soja, 148 p., 2008.

Sousa, D. M.; Rein, T. A. Soil fertility evaluation and control for annual crops in the Cerrado. **Better Crops**. 2011; 95.

SILVEROL, A. C.; TOLEDO, M. C. M.; BENEDITO, D. da S.; PROCHNOW, L.I. Compostos organo-fosfatados obtidos pelo processo humifert. **Geochimica Brasiliensis**, 21(1)086 – 098,2007

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Phosphorus: essential for life. In: **SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, 2003, Piracicaba. Anais. Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. 1

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4a. ed. Artmed Editora. 2009. 819 p.

TEIXEIRA, R. B.; ROQUE, C. G.; LEAL, A. J. F.; MINOTTO, V. A.; FREITAS, U. C. Formas de aplicação da adubação fosfatada na cultura da soja em semeadura direta. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta-MT, v.11, n.1, p.9-15, 2013.

2. CAPÍTULO 1 – MODOS DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE FOSFATADO NO TRIGO E FEIJOEIRO CULTIVADOS EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO DE TOLEDO

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho das culturas do trigo e do feijoeiro sob diferentes modos de aplicação de fertilizante fosfatado em Latossolo Vermelho Distroférico no município Toledo, região Oeste do Paraná. O trabalho foi conduzido em condições de campo, na unidade experimental do curso de Agronomia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Campus Toledo. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com os tratamentos constituídos pelos modos de aplicação do fertilizante fosfatado (100% aplicado à lanço, 100% aplicado na linha de semeadura e 50% aplicado à lanço e 50% na linha de semeadura), com cinco repetições. Como fonte de P foi utilizado o superfosfato triplo (41% de P_2O_5) aplicado nas doses de 115 e 250 kg ha⁻¹ do fertilizante, respectivamente nas culturas do trigo e do feijoeiro, de acordo com a exportação das culturas. O cultivar de trigo utilizado foi BRS Gralha Azul e do feijoeiro foi a BRS Estilo. No momento da colheita, foram avaliados a altura de plantas e os componentes de rendimento para o trigo, massa de mil grãos e produtividade. E para o feijoeiro, número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade. De forma geral, os modos de aplicação do fertilizante fosfatado não proporcionaram incrementos sobre a altura de planta do trigo e os componentes de rendimento das culturas do trigo e do feijoeiro. Em solo com alto teor de P, a aplicação de fertilizante fosfatado pode ser realizado a lanço para as culturas do trigo e feijoeiro.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. *Phaseolus vulgaris* L. Componentes de rendimento. Fósforo. Superfosfato triplo.

CHAPTER 1 - MODES OF APPLICATION OF PHOSPHATE FERTILIZER IN WHEAT AND BEAN CULTIVATED IN WESTERN PARANÁ

Abstract: The present work aims to evaluate the performance of the wheat and bean crops under different applications of phosphate fertilizer in the Distroferric Red Latosol in the region of Toledo, western Paraná. The research was carried out at the Experimental Unit of the Agronomy Course in the Pontifical Catholic University of Paraná (PUCPR), Campus Toledo. The experiment was conducted using randomized block design, with treatments consisting of the application of the phosphate fertilizer (100% applied to the haul, 100% applied in the sowing line, and, 50% applied to the haul and 50% in the sowing line). with five samples replication. Triple superphosphate (41% of P_2O_5) was used as a source of phosphorus (P) applied to wheat and bean cultivation in fertilizer doses of 115 and 250 kg ha⁻¹, respectively, according to the export of crops. The wheat specie used was BRS Gralha Azul and the bean specie was BRS Estilo. At the time of harvest, the yield components were evaluated. The measurements analyzed in the wheat were the height of the crop, the weight of one thousand grains and its productivity, while in the bean, the number of pods per plant, the weight of one thousand grains and its productivity. In conclusion, the application methods of phosphate fertilizer did not influence the yield components of the wheat and bean crops, the implementation of high content of phosphate fertilization in soil can be used with wheat and bean crops from P.

Key words: *Triticum aestivum* L. *Phaseolus vulgaris* L. Performance components. Phosphorus. Triple Superphosphate.

2.1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores que consolidaram o Brasil como um dos maiores produtores agropecuários mundiais nos últimos anos, se deve aos investimentos em pesquisas e a adoção pelos produtores rurais das tecnologias geradas, dentre elas, o uso racional de corretivos e fertilizantes com intuito de aumentar a produtividade das culturas do trigo e feijão (RESENDE et al., 2016).

Dentro os nutrientes essenciais que são exigidos pelas plantas, destaca-se o P, que no solo é constituído por compostos derivados do ácido ortofosfórico e por pirofosfato. A rocha primária é a apatita, de onde os minerais fosfatados são liberados durante o processo de intemperização do material de origem, gerando minerais mais estáveis, que são incorporados a compostos orgânicos (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

A dinâmica do P no solo está associado a fatores ambientais, os quais controlam a atividade dos microrganismos que liberam ou imobilizam os íons ortofosfatos e as propriedades físico-químicas e mineralógicas do solos em solos jovens e nos moderadamente intemperizados como Neossolos, bem como, ocorre o P presente em minerais primários. Já nos solos muito intemperizados como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energias e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (SANTOS et al., 2008)).

Neste caso, a disponibilidade de P às plantas é influenciada principalmente pelo grau de intemperismo do solo, textura, mineralogia predominante e conteúdo de matéria orgânica (BORTOLUZZI et al., 2015), pois o P desempenha um papel importante nos vegetais, o qual é constituinte do ATP e de enzimas, por isso, quando sua concentração no solo está baixa, o crescimento da planta é prejudicado (KIMANI; DERERE, 2009).

A intensidade das reações dos diferentes tipos de fertilizantes fosfatados no solo varia de acordo com os diferentes sistemas de manejo do solo e fertilizantes utilizados. No caso do Sistema Plantio Direto (SPD), ao longo dos anos, à adição de fertilizantes fosfatados ao solo provoca maior acumulação de P na camada superficial em comparação com Sistema de Preparo Convencional (PC) do solo (TEIXEIRA et al., 2013).

Em SPD, com a elevação da disponibilidade de P a níveis consideráveis adequados é fundamental para se ter bons rendimentos agrícolas. Em casos de solos com baixa disponibilidade de P, recomenda-se uma adubação de correção visando elevar os teores a níveis adequados (OLIVEIRA JUNIOR; CASTRO, 2013). Segundo Sobral et al. (2015) solos com mais de 8 mg dm^{-3} são considerados solos com níveis adequados para solos com teores de argila $350\text{-}600 \text{ g kg}^{-1}$.

Os modos de aplicação desse fertilizante mais discutidos na literatura são a aplicação à lanço e localizada no sulco de semeadura, sendo está a mais empregada pelos agricultores no oeste paranaense. Contudo, a aplicação do fertilizante fosfatado à lanço vem se tornando comum visando maior agilidade e eficiência operacional em grandes propriedades de produção de *commodities*, porém, podem ocorrer perdas de produtividade em certos casos, principalmente em safras com ocorrência de déficit hídrico. Entretanto, este modo de aplicação tem sido sugerido em solos de fertilidade construída, podendo resultar em produtividades iguais as obtidas quando realiza-se à adubação na linha de semeadura (SOUSA; REIN 2011).

Contudo Castro et al. (2016) relatam que tanto em aplicação a lanço em superfície ou incorporado no sulco de semeadura, o modo de aplicação pode não influenciar a produtividade das culturas, isso quando o solo possui níveis acima do nível crítico, no qual a aplicação de nutrientes via fertilizantes visa repor as quantidades exportadas dos nutrientes pelos grãos das culturas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho das culturas do trigo e feijoeiro sob diferentes modos de aplicação de fertilizante fosfatado em Latossolo Vermelho Distroférico em Toledo, região Oeste do Paraná.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Local do Experimento

O trabalho foi conduzido em condições de campo na unidade experimental do curso de Agronomia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR), Campus Toledo, localizado nas coordenadas $24^{\circ}42'49'' \text{ S}$ e $53^{\circ}44'35'' \text{ W}$, com altitude média de 574 metros, segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região de Toledo é caracterizado como sendo subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sem estações secas e com poucas geadas (NITSCHE et al., 2019).

Durante a condução dos experimentos, os dados meteorológicos de temperatura média e precipitação pluviométrica estão apresentados na Figura 1.

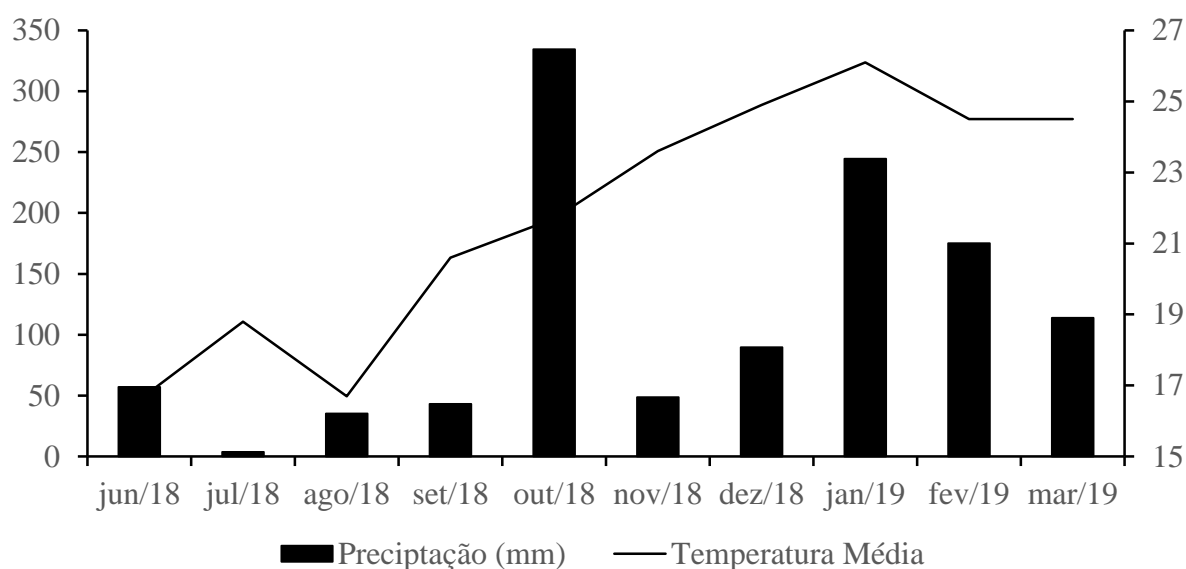


Figura 1 – Dados Meteorológicos de temperatura média e precipitação pluviométrica compreendendo o período de junho de 2018 a março de 2019, dados fornecidos pela estação meteorológica da PUC – Campus Toledo Paraná.

O solo da fazenda experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, horizonte A moderado, relevo suave ondulado, textura muito argilosa (SANTOS, et al., 2018). Previamente à instalação do experimento, foi realizada a coleta de solo na profundidade de 0 – 20 cm e encaminhada para avaliação da fertilidade (LANA et al., 2016), apresentando os seguintes resultados: pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} : 5,04; P: 11,70 mg dm^{-3} ; S: 7,78 mg dm^{-3} ; Ca, Mg, K e H + Al, 4,57; 2,10; 0,26 e 5,26 cmol_c dm^{-3} , respectivamente, SB: 6,92, CTC:12,18 e V% 56,82, B: 0,08 mg dm^{-3} ; Cu: 5,34 mg dm^{-3} ; Fe: 98,95 mg dm^{-3} ; Mn: 71,53 mg dm^{-3} e Zn: 1,09 mg dm^{-3} . A análise granulométrica apresentou 175, 162,5 e 662,5 g kg^{-1} , respectivamente, areia, silte e argila (EMBRAPA, 1997).

2.2.2. Delineamento Experimental

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com os tratamentos constituídos pelas formas de aplicação do fertilizante fosfatado (100% aplicado à lanço, 100% aplicado na linha de semeadura e 50% aplicado à lanço e 50%

na linha de semeadura), com cinco repetições, com as parcelas apresentando as dimensões de 4 x 10 m.

Para execução deste estudo foram utilizadas as culturas do trigo em sucessão com o feijoeiro. Quanto a cultura do trigo, foi utilizada a cultivar BRS Gralha Azul, espaçamento de 0,17 m e população de 300 plantas m^{-2} , com semeadura realizada no dia 11 de junho de 2018, utilizando semeadora-adubadora, pode se observar que no período de desenvolvimento da cultura ocorreu um déficit de chuvas reduzindo as produtividades. Para a cultura do feijoeiro, a cultivar utilizada foi a BRS-Estilo, espaçamento de 0,45 m de entre linha e população de 12 plantas por metro linear, com a semeadura ocorrendo no dia 12 de novembro de 2018 ocorrendo o mesmo problema da cultura anterior ou seja uma baixa pluviosidade durante o desenvolvimento da cultura (Figura 1)

A adubação de manutenção para ambas as culturas do trigo e do feijoeiro foi calculada utilizando-se das tabelas de exportação de P, conforme Paulletti (1998), bem como, foi utilizado o fator de consumo (FC) de nutrientes da cultura do trigo e feijão (CUNHA et al., 2014). O fertilizante utilizado foi o superfosfato triplo (SFT) (00-41-00), sendo aplicado 115 kg ha^{-1} para a cultura do trigo, almejando expectativa de produtividade de 3000 kg ha^{-1} e 250 kg ha^{-1} para a cultura do feijão com expectativa de produzir 4000 kg ha^{-1} . As aplicações no sulco de semeadura foram realizadas com auxílio de semeadora-adubadora no momento da semeadura das culturas e para os tratamentos com aplicação à lanço, ela foi realizada de forma manual logo após a semeadura das culturas para a maior precisão.

A adubação de cobertura na cultura de trigo foi realizada na fase de perfilhamento na fase E1 segundo a Escala de Feeks aplicados à lanço 60 kg ha^{-1} de N na forma de ureia (45-00-00) e 40 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio (00-00-60). Para cultura do feijão, a adubação de cobertura ocorreu na fase vegetativa (V4), aplicando-se 90 kg ha^{-1} de N na forma de ureia (45-00-00) e 75 kg ha^{-1} de K_2O na forma cloreto de potássio (00-00-60) no dia 26 de dezembro de 2018. Os tratamentos culturais (controle de plantas daninhas, pragas e doenças), foram realizados na cultura do trigo duas aplicações de trifloxistrobina e tebucanazol para controle de doenças e duas aplicações de imidacloprido e beta-ciflutrina para o controle dos insetos, o controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual através de capinas. Na cultura do feijão foram realizadas as mesmas aplicações de fungicidas e inseticidas de acordo com a dosagem da bula de cada produto para a cultura.

2.2.3. Avaliações realizadas no trigo e feijoeiro

No momento da colheita foram determinados os componentes de rendimento de cada cultura. Para a cultura do trigo, selecionou-se as seis linhas centrais por três metros, utilizando a dessecação da cultura com o herbicida a base de glufosinato de amônia (dose), na área de colheita foram avaliadas a altura de plantas (ALP), coletando-se aleatoriamente 10 plantas e mediu-se a altura do solo até o dossel da planta em cada parcela. Na sequência, realizou-se a colheita da área útil. As plantas foram trilhadas e em seguida, coletou-se oito subamostras de 100 grãos e pesou-se, obtendo-se desta forma a massa de mil grãos (MMG) conforme metodologia descrita por Brasil (2009). Para produtividade, pesou-se a massa total de grãos produzida na área útil e por meio de cálculo, extrapolou-se os valores para kg ha^{-1} realizando correção do teor de umidade para 13%

Para cultura do feijão, selecionou-se as três linhas centrais por três metros, nas quais, foi avaliado o número de vagens por planta, coletando-se aleatoriamente 10 plantas e realizou-se a contagem das vagens produzidas em cada planta. Em seguida, as plantas foram trilhadas e na massa total de grãos obtida, coletou-se oito subamostras de 100 grãos e pesou-se, obtendo-se desta forma a massa de mil grãos conforme metodologia descrita por Brasil (2009), enquanto que para a produtividade, realizou-se a pesagem da massa total de grãos produzida na área útil e por meio de cálculo, extrapolou-se os valores para kg ha^{-1} realizando correção do teor de umidade para 13%.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Fisher a 5% de probabilidade, utilizando-se software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a cultura do trigo, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os modos de aplicação do fertilizante fosfatado sobre os componentes de rendimento e a produtividade avaliados (Tabela 1). Entretanto pode-se observar que para a produtividade a aplicação 50% a lanço e 50% em sulco foi 4% maior em relação a aplicação 100% em sulco e 8% maior em relação a aplicação a 100% a lanço, isso

convertido em valores reais, proporcionaria diferença de 60 e 120 kg ha⁻¹ respectivamente.

Tabela 1 - Resultados médios para altura e os componentes de rendimento do trigo altura de planta (ALP), massa de mil grão (MMG) e produtividade em função dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado aplicado em Latossolo Vermelho Distroférico no município de Toledo, região oeste do Estado do Paraná

Modo		Componentes de rendimento		
Linha	Lanço	ALP	MMG	Produtividade
— % —		— cm —	— g —	— kg ha ⁻¹ —
100	0	60,0 a	21,8 a	1.464 a
50	50	60,2 a	21,3 a	1.523 a
0	100	62,0 a	22,2 a	1.403 a
D.M.S.		4,0	1,96	368
CV (%)		3,64	5,00	13,91

Média seguida de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de probabilidade

A maioria dos resultados encontrados em pesquisas são para as culturas de soja e milho e com produtividades relativamente baixas comparando com as médias encontradas por bons produtores no país, sendo assim há a necessidade de mais estudos a campo que comprovem ou não a eficiência da aplicação de adubos fosfatados a lanço e em superfície (LANA et al., 2007)

Nas condições de realização deste trabalho, possivelmente, como os teores iniciais de P eram altos (11,70 mg dm⁻³), para os solos muito argilosos do estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2017), não influenciou nenhuma das características avaliadas, indicando que em locais com teores altos de P no solo o modo de aplicação (em linha ou a lanço) não proporcionam melhorias nos componentes de produtividade das culturas estudadas, sendo assim a aplicação de P pode ser realizada tanto de forma a lanço como no sulco de semeadura. Diferentemente do que foi encontrado em trabalho realizado por Castoldi et al. (2012) que observaram em seu trabalho respostas positivas quando a adubação fosfatada foi realizada a lanço mesmo em solos com altos teores de P.

Semelhantemente, Barreto; Fernandes (2002) em experimento conduzido em solo com teor inicial de 1 mg dm⁻³ da camada de 0-20 cm, observaram aumento linear

no teor de P, utilizando adubação a lanço realizada anteriormente a implantação da cultura do milho em comparação com a aplicação na base da semeadura, como também maiores produtividades na cultura do trigo com a aplicação a lanço.

Além disso, Collier et al. (2008) trabalhando em solo com 30% de argila e P inicial de $2,51 \text{ mg dm}^{-3}$ objetivaram maiores resultado na produtividade do milho quando o P foi aplicado no sulco e a lanço sendo $3652,25$ e $5155,96 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Entretanto, Bona et al. (2016) estudando modos de aplicação do fertilizante fosfatado recomendam a aplicação de dose única de P no sulco de semeadura na cultura do trigo, mesmo que o teor do solo seja considerado alto pela análise, isto devido às características argilominerais e à presença de óxidos de ferro e de alumínio na maioria dos solos no Brasil.

Em outro estudo, Boarreto et al. (1985) avaliaram a produção de matéria verde e seca da cultura do trigo, quando realizado a adubação fosfatada juntamente com a semente ou abaixo e ao lado da semente, concluíram que o posicionamento do fertilizante fosfatado não proporcionou diferenças significativas ($p > 0,05$).

O P possui sua absorção reduzida naturalmente, uma vez que em solos muito intemperizados, predominantes no oeste paranaense, interagem com outros macronutriente precipitando-o. A ação natural, aliada a valores de pH inadequados ocasionam queda elevada da disponibilidade de P na solução do solo para que se encontre disponível para a absorção da cultura (BROGGI et al., 2015).

No entanto, Pavinato; Ceretta (2004) em seu trabalho em um solo com teores muito alto de P, estudando épocas e formas de aplicação de P, não encontraram diferenças na produtividade das culturas de trigo e milho em sucessão, resultados semelhantes aos observados no presente trabalho.

Da mesma forma, em estudo conduzido por Pöttker (1999) observou não haver diferença na produtividade mesmo em vários cultivos em sucessão cultura trigo/aveia branca/milho/milho, tanto na aplicação via sulco ou à lanço. Já Mumbach et al. (2018), obtiveram um ganho de 10,6% ($267,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos) na produtividade no trigo, quando aplicado o fertilizante fosfatado no sulco de semeadura, demonstrando assim um maior desenvolvimento e maior viabilidade de aplicação de P no solo no sulco de semeadura segundo o autor, ganhos maiores também foram vistos em outros estudos (OLIVEIRA JUNIOR; CASTRO, 2013; BARBOSA et al., 2015). Stecker et al. (1988) também encontraram maior rendimento de grãos na cultura do trigo quando o fertilizante foi aplicado junto às sementes em comparação com aplicação a lanço.

Quanto ao feijoeiro, também não foram obtidas diferenças significativas ($p > 0,05$) para os componentes de rendimento e a produtividade avaliados (Tabela 2). Porém, foi observado uma diferença de 20% na produtividade da cultura em relação ao tratamento utilizando 100% na linha de semeadura e 100% a lanço, sendo na linha o maior resultado, isso podendo estar ligado com o local ao qual o fertilizante foi depositado juntamente com o tipo de raízes do feijoeiro sendo essa pivotante e o fertilizante aplicado no sulco de semeadura próximo a semente aumentando a absorção do nutriente por difusão

Dessa maneira, Barber (1995) verificou que a aplicação localizada de P proporcionou um maior rendimento do sistema radicular na área adubada, colaborando para maior quantidade de vagens formadas.

Bem como observado maior produtividade no modo de aplicação em linha de semeadura em comparação com a lanço o mesmo pode estar relacionado com o número de vagens por planta onde o modo linha apresentou 13,7 e a lanço 12,3, o mesmo ocorreu com a massa de mil grão onde quando o fósforo foi aplicado na linha de semeadura apresentou 9,1 gramas a mais em relação ao fósforo aplicado a lanço.

Tabela 2 - Resultados médios para os componentes de rendimento do feijoeiro número de vagens por planta (NVP), massa de mil grão (MMG) e produtividade em função dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado aplicado em Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, região oeste do estado do Paraná

Modo		Componentes de rendimento		
Linha	Lanço	NVP	MMG	Produtividade
—— % ——			— g —	— kg ha ⁻¹ —
100	0	13,7 a	231,2 a	1.878 a
50	50	13,8 a	224,9 a	1.752 a
0	100	12,3 a	222,1 a	1.509 a
D.M.S.		4,97	16,4	513
CV(%)		20,73	4,02	16,57

Média seguida de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Fisher a 5% de probabilidade

Para produtividade do feijoeiro, comparando-se os modos de aplicação do fertilizante fosfatado, observa-se diferença de 369 kg ha⁻¹ entre o modo de aplicação

100% no sulco em relação a 100% do fertilizante aplicado à lanço (Tabela 2), sendo esse valor convertido em sacas se tem 7,4 sacos de diferença, sendo que para os produtores isso reflete em valores significativos. Em relação as produtividades de ambos os tratamentos, esses valores encontram-se extremamente abaixo dos valores esperados para o estado do Paraná, conforme dados da Conab (2019), o qual obteve, na safra 2018/2019, produtividade média de 3.658 kg ha⁻¹. Isto reflete as condições de indisponibilidade de P para a cultura do feijoeiro, como também pode estar ligado as condições climáticas no ano no qual foi conduzido o experimento sendo que nesse ocorreu um déficit hídrico nos primeiros estádios do feijoeiro Figura 1. Resultados obtidos por Grant et al. (2001) indicam que a menor absorção do P afetaria diretamente os processos fisiológicos do feijoeiro.

Em trabalho conduzido por Costa (2008) observou maior eficiência da adubação fosfatada quando o teor de P no solo estava baixo, obtendo maiores produtividades de grãos na aplicação localizada. Entretanto Rossi (2018), demonstra o contrário que os modos de aplicação do fertilizante fosfatado não influenciaram positivamente a produtividade, atribuindo estes resultados devido a baixa disponibilidade de P em superfície, impossibilitando o desenvolvimento de suas raízes.

Em outro estudo, Oliveira; Castro (2013) observaram que a maior produtividade na cultura da soja ocorreu quando a dose de 100% do fertilizante fosfatado foi aplicado na linha de semeadura, entretanto as produtividades intermediárias foram obtidas com os tratamentos que receberam parte da combinação (25%) a lanço e totalmente a lanço (100%).

Conforme Silva et al. (2010) a aplicação do fertilizante fosfatado em sulco duplo, (sendo que a aplicação do fertilizante foi realizada com dois sulcos paralelos ao sulco de semeadura da cultura do feijão) na cultura do feijão-caupi proporcionou maior crescimento e produtividade, possivelmente devido a maior aproximação do nutriente com o sistema radicular entretanto, a aplicação à lanço e em sulco simples não proporcionaram diferenças entre os modos avaliados. Prado et al. (2001), em seu trabalho com aplicação de P em sulco duplo em solo com 66% de argila e 5 mg dm⁻³ obtiveram a maior produtividade de milho em comparação com sulco simples e a lanço

De acordo com trabalho conduzido por Oliveira et al. (2001), avaliando os modos e doses de P na cultura do feijoeiro, verificaram que quando o P foi aplicado em cobertura e incorporado no solo antes da semeadura, proporcionou o maior

crescimento das plantas, em contrapartida o teor de matéria seca teve seu maior incremento quando o fósforo foi aplicado após a semeadura a lanço.

Guareschi et al. (2011) trabalhando em solo com níveis de P considerados alto e 50% de argila, observaram maior produtividade da soja quando utilizado o fertilizante no sulco de semeadura em relação a aplicação a lanço. Santos et al. (2008), salientaram que perdas de produtividades devem ser cada vez maiores quando adubado superficialmente em solos que tenham os teores de P cada vez menores, isso demonstra a necessidade de correção de P e acides nos solos antes da implantação das culturas.

2.4. CONCLUSÕES

Os modos de aplicação do fertilizante fosfatado não influenciaram na altura de planta do trigo e nos componentes de rendimento das culturas do trigo e do feijoeiro.

A adubação fosfatada de manutenção pode ser realizada a lanço nas culturas do trigo e feijoeiro em condições de solo com teores de P altos

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBER, S. A. Mecanismos de absorção de fósforo sob condições de estresse ambiental. In: Simpósio Internacional sobre Estresse Ambiental. Belo Horizonte. **Anais**, Sete Lagoas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 233-237, 1995

BARBOSA N. C.; ARRUDA E. M.; BROD E.; PEREIRA H. S. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Biosci Journal**. 2015; 31: 87-95.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 151-156, 2002.

BOARETTO, A. E.; NEPTUNE, A. M. L.; PATELLA, J. F. **Efeitos de fontes de nitrogênio e de modos de aplicação do adubo fosfatado sobre a porcentagem de utilização do fósforo do superfosfato simples pelo trigo (*Tricicum aestivum* L.)**. Anais da E.S.A “Luiz de Queiroz”, Volume XLII, 1985.

BONA, F. D.; MORI, C.; WIETHÖLTER, S. **Manejo nutricional da cultura do trigo**. Informações Agrônomicas, nº154, Junho de 2016, ISSN 2311-5904.

BORTOLUZZI E. C.; PÉREZ C. A. S.; ARDISSON J. D.; TIECHER T.; CANER L. **Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils.** Applied Clay Science. 2015; 104: 196-204.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Secretaria de Defesa Agropecuária. –Brasília, DF, 2009.

BROGGI, F. et al. **Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos.** Ceres, v. 57, n. 2, 2015.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 151-156, 2002.

CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C. H. M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 65, 2012.

CASTRO, G. F.; MOREIRA, S. G.; SOUSA, S. S.; VITOR, C. M. T. Adubação fosfatada a lanço em culturas anuais sob sistema de semeadura direta. **Revista agroambiental**, Pouso Alegre, v.8, n.4, p. 117-129, dez 2016.

COLLIER, L. S.; CORREIA, M. A. R.; RAMOS, L. N.; PRADO, R. M.; FLORES, R. A.; NUNES, T. V. Adubação fosfatada no sulco e em faixas sob palhada de leguminosa e produtividade de milho em plantio direto no Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 2, p. 109-116, mar/abr. 2008.

CONAB, **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, p.1-69, 2019.

COSTA, S. E. V. G. de A. **Distribuição de fósforo, de potássio e de raízes e rendimento de milho em sistemas de manejo de solo e da adubação em longo prazo.** Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 106p, 2008.

CUNHA, J. F.; FRANCISCO, E. A. B.; CASARIN, B.; PROCHNOW, L. I. **Balanço de nutrientes na agricultura brasileira – 2009 a 2012N.** Informações agronômicas, nº145. ISSN 2311-5904, 2014.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo.** Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 212p. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2).

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system.** Ciência e Agrotecnologia, 2011.1039-1042p. (Universidade Federal de Lavras, 6).

FERNANDES, F.R.C.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. **Agrominerais para o Brasil.** Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 2010, 40p.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 643-648, jul/ago. 2011.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, 2001.

KIMANI, J. M.; DERERA, J. **Combining ability analysis across environments for some traits in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.)** under low and high soil phosphorus conditions. *Euphytica*, 166:1-13, 2009.

LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e de tecido vegetal: metodologias analíticas**. 2.Ed. Cascavel: Edunioeste. 155 p., 2016.

LANA, R. M. Q.; BUCK, G. B.; LANA, A. M. Q.; PEREIRA, R. P. Doses de multifosfato magnésiano aplicados a lanço em pré-semeadura, sob sistema plantio direto cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1654-1660, nov/dez. 2007.

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

OLIVEIRA, I. P.; EDWARDS, D. G.; ASCHER, C. J.; GRUNDON, N. J.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, C. D. Modos De Aplicação E Doses De Fósforo No Crescimento Do Feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 31(1): 1-5, 2001 – 3

OLIVEIRA, J. A.; CASTRO C. **Manejo da adubação fosfatada em solos de Cerrado: qual é o custo agronômico da operacionalidade da aplicação a lanço?** Anais: Workshop CTC Agricultura. 2013; 21-26.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. Campinas: Fundação ABC/ Fundação Cargil, 1998, 59p.

PAULETTI, V., MOTTA, A. C. V., **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Sociedade Brasileira Ciência do Solo – Núcleo Estadual Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, vol. 34, núm. 6, nov.-dez., 2004, pp. 1779-1784. Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, Brasil.

PÖTTKER, D. R. **Aplicação de fósforo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 32p. (Boletim de Pesquisa, 2).

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**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 83-90, 2001.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; JUNIOR, A. O.; BORIN, A. L. D. C. **Solos de fertilidade construída: Características, funcionamento e manejo**. IPNI. Informações Agronômicas. Nº 156, 2016. ISSN 2311-5904.

ROSSI, N. G.; VILAR, C. C.; USHIWATA, S. Y.; REIS, R. G. E; NABEIRO, J. C. X. Influência do modo de aplicação de fertilizante fosfatado na produção de soja em sistema plantio direto e convencional no cerrado. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.11, n.2, p.101-111, 2018.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. (Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 3).

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. **Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto**. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.2, p.575-586, mar-abr, 2008.

SILVA, A. J.; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; LIMA, A. C. S.; SANTOS, C. S. V.; OLIVEIRA, J. M. F., MELO, V. F. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. **Acta Amazonica**, vol 50, 2010. 31-36p.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. EMBRAPA – Tabuleiros Costeira, Aracaju, SE. 2015. Documentos 206, ISSN 1678-1953.

SOUSA, D. M. G, REIN, T. A. **Soil fertility evaluation and control for annual crops in the Cerrado**. **Better Crops**. 2011; 95.

STECKER, J. A.; SANDER, D. H.; ANDERSON, F. N.; PETERSON, G. A. **Phosphorus fertilizer placement and tillage in a wheat-fallow cropping sequence**. SoU Science Society o! American Journal, Madison, v. 52, p. 1063- 1068, 1988.

TEIXEIRA, R. B.; ROQUE, C. G.; LEAL, A. J. F.; MINOTTO, V. A.; FREITAS, U. C. Formas de aplicação da adubação fosfatada na cultura da soja em semeadura direta. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta-MT, v.11, n.1, p.9-15, 2013.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. **The fate of phosphorus during pedogenesis**. **Geoderma**, v.15, p.01-19, 19.

3. CAPÍTULO 2 – TEORES DE FÓSFORO NO SOLO EM FUNÇÃO DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE FOSFATADO EM DUAS CULTURAS EM SUCESSÃO

Resumo: O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a distribuição de P em diferentes profundidades em função do modo de aplicação do fertilizante fosfatado nas culturas do trigo e feijoeiro cultivados em Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, região Oeste do Paraná. O trabalho foi conduzido em condições de campo na unidade experimental do curso de Agronomia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Campus Toledo. Foi utilizado o delineamento em blocos ao caso, em esquema de parcelas sub-subdivididas no espaço, sendo sendo o modo de aplicação a parcela, local (linhas e entre linhas) a subparcela e as profundidades de amostragem (0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20 cm) a sub-subparcela sendo as coletas realizadas em sete pontos de cada parcela, em dois anos consecutivos. A primeira coleta de solo foi realizada após a colheita do trigo, sendo realizadas as amostragens de solo para quantificar a quantidade de P acrescentado no solo. As amostras de solo foram coletadas em sete pontos por parcela, sendo quatro nas entrelinhas e três nas linhas de semeadura, em linha reta em cada parcela, o mesmo procedimento foi realizado após a colheita da cultura do feijoeiro. O modo de aplicação do fertilizante fosfatado não influenciou os teores de P no solo. Os maiores teores de P foram obtidos na profundidade 0 – 5 cm, reduzindo aos longo das profundidades amostradas.

Palavras chaves: Difusão. Profundidade. Teor de P. Análise de solo.

CHAPTER 2 - PHOSPHORUS CONTENTS IN THE SOIL IN FUCTION OF THE MODES OF APPLICATION OF PHOSPHATE FERTILIZER IN TWO CROPS IN SUCCESSION

Abstract: The objective of this analysis was to evaluate the distribution of P at different depths depending on the application of phosphate fertilizer in wheat and common bean crops grown in an Dystrophic Red Latosol from Toledo, western Paraná. The work was carried out under field conditions at the experimental unit of the Agronomy course at the Pontifical Catholic University of Paraná (PUCPR), Campus from Toledo. The block design was used in the case, in a scheme of sub-subdivided plots in the space, the first factor being the application mode, the second local factor (lines and between lines) and the third factor sampling depth (0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20 cm), and collections were carried out at seven points in each plot, in two consecutive years. The first soil collection was carried out after the wheat harvest, with soil samplings being performed to quantify the amount of P added to the soil. The soil samples were collected at seven points per plot, four between the lines and three in the sowing lines, in a straight line in each plot, the same procedure was performed after harvesting the bean crop. The mode of application of the phosphate fertilizer did not influence the P content in the soil. The highest levels of P were obtained at depth 0 – 5cm, reducing along the sampled depths.

Keywords: Diffusion. Depth. P. Content. Soil analysis.

3.1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 1970 a produção de grãos no Brasil a qual era realizada sob sistema de preparo convencional (SPC), passou a ser conduzida no sistema de Plantio direto (SPD), devido às várias vantagens fornecidas pelo SPD, tais como acúmulo de matéria orgânica, menor temperatura e maior umidade do solo, redução de erosão, proporcionando nova dinâmica de fertilidade do solo (NUNES, 2011)

A busca por incrementos de produtividade em diversas culturas tem proporcionado várias pesquisas relacionadas a eficiência da fertilização do P, como seus diferentes modos de aplicação no solo, fontes e doses empregadas, além do aperfeiçoamento de metodologias analíticas para quantificação do P na solução do solo (BARBOSA et al., 2015).

A intensidade das reações dos fertilizantes fosfatados no solo se difere nos diferentes sistemas de manejo do solo e fertilizantes utilizados, Ao longo dos anos com a utilização do SPD, provocou um maior acúmulo de P na camada superficial do solo (TEIXEIRA et al., 2013)

O transporte de P no solo é ligado diretamente a absorção do nutriente, sendo o principal mecanismo de transporte a difusão, sendo influenciada principalmente pelos colóides do solo e sua interação com o nutriente, devido a concentração do nutriente no solo e a distância em relação as raízes, gerando barreiras para a adubação fosfatada (COSTA et al., 2006)

Os modos de aplicação de adubos mais utilizados para produção de grãos são sulco de semeadura; a lanço na superfície incorporado ou não em covas e em faixas, dentre esses o modo de aplicação a lanço sem incorporação, está sendo bastante usado em diversas regiões produtoras do Brasil (SOUZA et al., 2004). O modo de aplicação de P pode influenciar no aumento de enraizamento das plantas e auxiliar na redistribuição do nutriente no solo, devido a decomposição das raízes, elevando os teores em camadas mais profundas (OLIVEIRA JUNIOR; PROCHNOW; KLEPER, 2008).

Vários autores vem estudando o modo de aplicação do fertilizantes fosfatado em relação a sua distribuição vertical e horizontal, em diversos tipos de solos e teores de P no solo, diferentes tipos de culturas, anos de cultivos, com intuito de obter recomendações adequadas para cada situação de cultivo (ROSSI et al., 2018,

BARBOSA et al., 2015; BOARETTO; NEPTUNE, PATELLA, 1985; BROGGI et al., 2015; RESENDE et al., 2006; NUNES et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2013).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição de P na profundidade de 0 – 20 cm, em três modos de aplicação do fertilizante fosfatado em duas culturas seguidas Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, região oeste do Paraná

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local do Experimento

O trabalho foi realizado em condições de campo na unidade experimental do curso de Agronomia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR), Campus Toledo, localizado nas coordenadas 24°42'49" S e 53°44'35" W, com altitude média de 574 metros, segundo a classificação climática de Köeppen, o clima da região de Toledo é caracterizado como sendo subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sem estações secas e com poucas geadas (NITSCHE et al., 2019).

O solo da fazenda experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, horizonte A moderado, relevo suave ondulado, textura muito argilosa (EMBRAPA, 2013). Previamente a instalação do experimento, foi realizada a coleta de solo na profundidade de 0 – 20 cm, posteriormente, encaminhada para avaliação da fertilidade (LANA et al., 2016), apresentando os seguintes resultados: pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹: 5,04; P: 11,70 mg dm⁻³; S: 7,78 mg dm⁻³; Ca, Mg, K e H + Al, 4,57; 2,10; 0,26 e 5,26 cmol_c dm⁻³, respectivamente, SB: 6,92, CTC:12,18 e V% 56,82, B: 0,08 mg dm⁻³; Cu: 5,34 mg dm⁻³; Fe: 98,95 mg dm⁻³; Mn: 71,53 mg dm⁻³ e Zn: 1,09 mg dm⁻³. A análise granulométrica apresentou 175, 162,5 e 662,5 g kg⁻¹, respectivamente, areia, silte e argila (EMBRAPA, 1997).

3.2.2 Delineamento Experimental

Foi utilizado o delineamento em blocos ao caso, em esquema de parcelas sub-subdivididas no espaço, sendo a parcela os 3 modos de aplicação (100% sulco, 100% lanço e 50% lanço/50% sulco), a sub-parcela local (linhas e entre linhas) e como sub-subparcela as profundidades de amostragem (0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20 cm),

sendo as coletas realizadas em sete pontos de cada parcelas, em dois anos consecutivos após a cultura do trigo e após a cultura do feijoeiro

Para execução deste estudo, foram utilizadas as culturas do trigo e após a colheita da cultura foi implantado a cultura do feijoeiro em sucessão. Quanto a cultura do trigo, foi utilizada a cultivar BRS Gralha Azul, espaçamento de 0,17m e população de 300 plantas m^{-2} , com semeadura realizada no dia 11 de junho de 2018, utilizando semeadora-adubadora. Para a cultura do feijão, a cultivar utilizada foi a BRS-Estilo, espaçamento de 0,45 m de entre linha e população de 12 plantas por metro linear, com a semeadura ocorrendo no dia 12 de novembro de 2018.

A adubação de manutenção para ambas as culturas do trigo e do feijoeiro foi calculada utilizando-se das tabelas de exportação de P, conforme Pulletti (1998), bem como, foi utilizado o fator de consumo (FC) de nutrientes da cultura do trigo e feijão (CUNHA et al., 2014). O fertilizante utilizado foi o superfosfato triplo (SFT) (00-41-00), sendo aplicado 115 kg ha^{-1} para a cultura do trigo, almejando uma expectativa de produtividade de 3000 kg ha^{-1} e 250 kg ha^{-1} para a cultura do feijão com expectativa de produzir 4000 kg ha^{-1} . As aplicações no sulco de semeadura foram realizadas com auxílio de semeadora-adubadora no momento da semeadura das culturas e para os tratamentos com aplicação à lanço, ela foi realizada de forma manual logo após a semeadura das culturas para a maior precisão.

A adubação de cobertura na cultura de trigo foi realizada no período de perfilhamento no estágio E1 segundo a escala de Feeks, 1942, aplicados à lanço 60 kg ha^{-1} de N na forma de ureia (45-00-00) e 40 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio (00-00-60). Para cultura do feijão, a adubação de cobertura ocorreu na fase vegetativa (V4), aplicando-se 90 kg ha^{-1} de N na forma de ureia (45-00-00) e 75 kg ha^{-1} de K_2O na forma cloreto de potássio (00-00-60) no dia 26 de dezembro de 2018. Os tratos culturais (controle de plantas daninhas, pragas e doenças), foram realizados na cultura do trigo duas aplicações de Trifloxistrobina e Tebucanazol para controle de doenças e duas aplicações de Imidacloprido e Beta-ciflutrina para o controle dos insetos, o controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual através de capinas. Na cultura do feijão foram realizadas as mesmas aplicações de fungicidas e inseticidas de acordo com a dosagem da bula de cada produto para a cultura.

3.2.3 Coleta de Amostras de Solo

A primeira coleta de solo foi realizada após a colheita do trigo, sendo realizadas as amostragens de solo para determinar a quantidade de P acrescentado no solo. As amostras de solo foram coletadas em sete pontos por parcela, sendo quatro nas entrelinhas e três nas linhas de semeadura, em transversal em cada parcela.

A estratificação foi realizada efetuando-se em cada ponto, coletando as amostras de 0 – 5; 5 – 10; 10 – 15 e 15 – 20 cm, como proposto por Barbosa et al. (2015). A coleta foi realizada utilizando pá de corte juntamente com trena graduada para auxiliar esta estratificação. Após coletadas as amostras de solo, elas foram acondicionadas devidamente em sacos plásticos e depois foram encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo da PUC/PR, Campus Toledo. Em seguida, as amostras foram colocadas para secar em estufa a 40°C por 24 horas, na sequência, elas foram moídas utilizando um moinho com peneira de 2 mm de malha (TFSA – Terra fina seca ao ar). Após a moagem, nas amostras de solo, determinou-se o teor de P utilizando como extrator o Mehlich-1, conforme metodologia descrita por Lana et al. (2016).

O mesmo procedimento foi realizado após a colheita de cultura do feijoeiro, totalizando duas épocas de coletas em dois ciclos de culturas, trigo e feijão.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e, quando significativos, as medias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os modos de aplicação do fertilizante fosfatado (sulco e lanço) e local de coleta das amostras (linha e entre linha), não foram obtidas diferenças significativas ($p > 0,05$), porém, ocorreram variações significativas ($p < 0,05$) nos teores de P entre as profundidades de coleta das amostras de solo (após a cultura do trigo) e para a interação local de coleta x profundidade, após a cultura do feijoeiro (Tabela 3).

Para os modos de aplicação do fertilizante fosfatado, numericamente o maior teor foi obtido quando se aplicou 100% da adubação a lanço, seguido de 50% no sulco e 50% a lanço e 100% no sulco de semeadura em ambas as coletas (Tabela 3). O teor inicial de P na camada de 0-20 cm foi de 11,70 mg dm⁻³, observa-se que ocorreu um aumento expressivo no teor de P, o qual está diretamente ligado a aplicação do

fertilizante fosfatado, não sendo influenciado pelos modos de aplicação. Conforme Paulletti et al. (2017), este teor inicial de P no solo é interpretado como alto (9 – 12 mg dm⁻³) para solos muito argilosos, como é o caso do solo deste estudo.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para os teores de P e médias no solo em função dos modos de aplicação, local de amostragem e profundidade de coleta de amostras de um Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, região oeste do estado do Paraná

Fontes de variação	G. L.	Q. M.	
		Após o Trigo	Após o Feijoeiro
Bloco	4	503,69*	517,92*
Modo (M)	2	88,98 ^{NS}	159,51 ^{NS}
Resíduo A	8	154,57	477,62
Local (L)	1	48,51 ^{NS}	1,86 ^{NS}
M x L	2	237,12 ^{NS}	57,49 ^{NS}
Resíduo B	4	356,80	355,18
Profundidade (P)	3	12933,50*	7677,75*
L X P	3	264,07 ^{NS}	771,76*
M X P	6	107,82 ^{NS}	280,29 ^{NS}
M X L X P	6	238,06 ^{NS}	143,29 ^{NS}
Resíduo C	80	214,48	204,70
Coeficiente de variação 1 (%)		34,35	70,87
Coeficiente de variação 2 (%)		52,18	61,12
Coeficiente de variação 3 (%)		40,46	46,40

^{NS}, * e **, respectivamente, não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F.

Barbosa et al. (2015) observaram maiores valores da camada superficial 0 - 2,5 cm utilizando aplicação de P 100% e 75% a lanço. Resultados obtidos por Santos; Gabotini; Kaminski (2008) relatam que a aplicação de P a lanço auxilia na melhoria do teor de P do solo, em decorrência a saturação de sítios de adsorção, reduzindo a deficiência de P, porém não foi observada diferenças entre os modos de aplicação no presente trabalho

Portanto, independentemente do modo de aplicação do fertilizante fosfatado, ocorreu aumento do teor de P a partir do manejo de adubação estudado. Resende et

al. (2006), verificaram que ocorreu um maior teor de P quando a aplicação do fertilizante fosfatado foi aplicação do sulco de semeadura, favorecendo a difusão de P e sua absorção pela cultura. Deith et al. (2005) afirmam que a aplicação de fertilizante fosfatado em sulco tende a ser mais eficiente porque a concentração de P fixado é maior quando aplicado sobre o solo.

Quanto aos locais de coleta das amostras, linha e entrelinha não se obteve diferença significativa ($p > 0,05$) em ambas as coletas (Tabela 3). Porém foi observado numericamente maior concentração de P na entre linhas de ambas as coletas, isso pode estar ligados a maior extração do P na linha de semeadura e por ambas as culturas de trigo e feijoeiro. Outro fator que pode ter influenciado é a baixa mobilidade do P, o qual aplicado em superfície limitou o desenvolvimento das raízes e a busca do nutriente pela cultura (BARBOSA et al., 2015), bem como o transporte de P no solo o qual ocorre preferencialmente por difusão, influenciado principalmente pelos colóides do solo e sua interação com o P, pelo teor do nutriente no solo e distância em relação a qual gera barreiras a adubação fosfatada (COSTA et al., 2006)

Para as diferentes profundidades de coleta das amostras de solo houve diferença significativa ($p < 0,05$) (Tabela 4), após a cultura do trigo ocorrendo um acúmulo de P na superfície do solo, na camada 0 – 5 cm sendo essas superior a todas as outras demais, já nas camadas de 5 – 10 cm e 10 – 15 cm não se teve uma diferença significativa entre as mesmas porém foram superiores a camada de 15 – 20 cm

Tabela 4 - Teores de P no solo em função dos modos de aplicação nas profundidades de um Latossolo Vermelho Distroférico de Toledo, região oeste do estado do Paraná

Profundidade cm	Após Trigo mg dm ⁻³
0 – 5	65,11 a
5 – 10	34,52 b
10 – 15	29,04 b
15 – 20	16,11 c

Média seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Barbosa et al, (2015) trabalhando com modos de aplicação de fósforo observaram um maior acúmulo de P na camada superficial do solo. Isso está ligado a baixa mobilidade do P no solo. Silva; Delatorre (2009) em seu trabalho constataram

que o P possui baixa mobilidade no solo, conseqüentemente reduzindo a absorção do nutriente pelas culturas assim diminuindo a quantidade de solo explorado pelas raízes. Momiya et al. (2004) e Pauletti et al. (2009) também tiveram como resultado maiores teores de P na camada superficial do solo. Costa et al. (2009) utilizou 3 modos de aplicação (lanço, sulco e em linhas na superfície) e também observou um maior acúmulo de P na superfície, sendo as maiores concentrações 0 – 5 cm.

Estes resultados podem ser atribuídos aos modos de aplicação do fertilizante fosfatado, pois como o P é imóvel no solo quando aplicado em superfície ou no sulco de semeadura este nutriente se acumula no local de sua deposição. Ernani et al. (2001) obtiveram resultados semelhantes com maior concentração de P nos primeiros centímetros do solo atribuindo isto a baixa mobilidade do P, sendo favorecida pela aplicação de fertilizantes fosfatados solúveis e deposição do fertilizante fosfatado na superfície. Nunes et al. (2011) observaram que na camada 0 – 5 e 5 – 10 cm os teores de P são provenientes de resíduos radiculares, aplicação de fertilizante a lanço e pelo procedimento da sulcagem pela semeadura adubadora.

Corrêa; Mauada; Rosolem (2004) em estudo em Latossolo Vermelho Distrófico, com baixo teor de P, obtiveram incremento nos teores de P em até 3 cm de profundidade utilizando aplicação a lanço, sendo influenciado pela redução da adsorção em vista da presença de palhada e de ácidos orgânicos, o mesmo observado no presente trabalho que apresentava um alto índice palhadas.

Para a primeira coleta realizada após o cultivo da cultura do trigo a não diferenciação entre os valores das coletas em linhas e entre linhas (Tabela 5) pode ser explicada devido ao espaçamento reduzido utilizado na semeadura de cultura sendo de 17 cm, ocasionando em proximidade muito alta entre duas linhas de cultivo. Kurihara et al. (2016) relatam que alguns fatores influenciam a disponibilidade de P no solo, por meio da adição do fertilizantes fosfatado, entre eles, o espaçamento utilizado pela cultura, pela maior distribuição quanto menor o espaçamento e, a profundidade de amostragem.

Já após o cultivo do feijoeiro a interação local x profundidade foi significativa ($p < 0,05$) (tabela 5), sendo observado um maior teor de P na entre linha na camada superficial 0 – 5 cm, sendo isso ligado possivelmente a extração do nutriente na linha de semeadura. Costa et al. (2009) relatam maior disponibilidade de P devido o menor contato do solo com o fertilizante quando depositado em sulco, ocorrendo absorção

do P pela planta em profundidade e deposição na superfície através da ciclagem de nutrientes, quando se tem um maior teor na camada de 0 – 5 cm.

Tabela 5 - Teores de P no solo em função dos locais de amostragem (linha e entre linhas) e as profundidades de coleta de amostras de um Latossolo Vermelho distroférico de Toledo, região oeste do estado do Paraná

Após Trigo		
Profundidade	Local	
	Linha	Entre linhas
cm	mg dm ⁻³	
0 – 5	67,20	63,01
5 – 10	34,65	34,39
10 – 15	24,19	33,90
15 – 20	16,20	16,01

Após Feijoeiro		
Profundidade	Local	
	Linha	Entre linhas
cm	mg dm ⁻³	
0 – 5	45,98 aB	57,49 aA
5 – 10	28,35 bA	30,59 bA
10 – 15	35,94 abA	22,85 bcB
15 – 20	12,57 cA	12,92 cA

Média seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Costa et al. (2009) constataram em seu experimento que o aumento dos teores de P nas entre linhas está ligado ao enraizamento das culturas na absorção de P, principalmente na camada de 0 – 5 cm. A aplicação de fertilizante fosfatado em sulco pode ser mais eficiente devido ao teor de P fixado é maior quando aplicado sobre o solo (DEITH; ANDERSON; HOFFMANN, 2005)

Já em relação a profundidade de 5 – 10 cm não ocorreu diferença entre linha e linha na coleta após o feijoeiro, um dos fatores que influenciam a disponibilidade de P no solo é o espaçamento utilizado pela cultura, pela maior distribuição quanto menor o espaçamento e a profundidade amostrada (Kurihara et al., 2016).

Na segunda coleta foi observado um maior acúmulo de P na linha na profundidade de 10 – 15 cm isso está ligado diretamente com o modo de aplicação utilizado, pois quando se realiza a adubação no sulco de semeadura utilizando semeadora-adubadora, é possível realizar a deposição do P em maior profundidade na linha de semeadura. Motomiya et al. (2004) e Pauletti et al. (2009), observaram maiores concentrações de P na profundidade de 0 – 20 cm realizando aplicação de P foi realizada no sulco de semeadura.

Em relação a profundidade de 15 – 20 cm na coleta após o feijoeiro os dados não se diferenciaram entre si possivelmente devido quando foi realizada a adubação não ocorreu a deposição do fertilizante nessa camada, também sendo observados os menores te P 12,57 e 12,92 na linha e entre linha respectivamente.

As maiores concentrações de P na camada superficial do solo pode representar algumas desvantagens, como a perda por erosão do nutriente (ANDRASKI et al. 2003), pode ocasionar maior concentração superficial das raízes deixando a planta mais susceptível em períodos com déficit hídrico (KLEPKER, 1991) e ocasionar menor disponibilidade de nutrientes em veranicos (NOVAIS; SMYTH 1999).

3.4 CONCLUSÕES

Os modos de aplicação do fertilizante fosfatado não influenciaram os teores de P no solo.

Os maiores teores de P foram obtidos na profundidade 0 – 5 cm, reduzindo aos longo das profundidades amostradas.

3.5 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

ANDRASKI, T. W.; BUNDY, L. G.; KILIAN, K. C. Manure history and long-term effects on soil properties and phosphorus losses in runoff. **Journal of environmental quality**, Madison, v. 32, p. 1782-1789, 2003.

BARBOSA, N. C.; ARRUDA, E. M.; BROD, E.; PEREIRA, H. S.. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 1, p. 87-95, 2015

BOARETTO, A. E.; NEPTUNE, A. M. L.; PATELLA, J. F. Efeitos de fontes de nitrogênio e de modos de aplicação do adubo fosfatado sobre a porcentagem de

utilização do fósforo do superfosfato simples pelo trigo (*Tricicum aestivum* L.). **Anais da E.S.A "Luiz de Queiroz"**, Volume XLII, 1985.

BROGGI, F. et al. **Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos**. *Ceres*, v. 57, n. 2, 2015.

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

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**, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. de. Fertilidade do solo e Nutrição de plantas. **Coamo – Campo Mourão Coamo/Coodetec (Boletim Técnico S/N)**. Campo Mourão, PR, 76p., 2006.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; CAO, E.G.; HOLZSCHUCH, M.J. Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long-term tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**. Viçosa, v.33, n.5, pp.1237-1247, 2009.

DEITH, L. G.; ANDERSON, S. A.; HOFFMANN, B. W. Soil and fertilizer sources of plant nutrients. **Management of Wisconsin Soils A3588**, Fifth Edition, chapter 9, 2005, p. 87.

EMBRAPA, **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 212p.

EMBRAPA, **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4. ed. Brasília: EMBRAPA – CNPS, 2013.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.939-946, 2001.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. *Ciência. Agrotecnologia*, 2011.1039-1042p. (Universidade Federal de Lavras, 6).

KLEPKER, D.; Nutrientes e raízes no perfil e crescimento de milho e aveia em função do preparo do solo e modos de adubação. 1991. 117 p. **Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.**

KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M.; DIAS, M. M.; TSUJIGUSHI, B. P.; SILVA, J. V. S. Gradual correction of phosphorus availability in the no-tillage system. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.2, p. 256-264, 2016.

LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e de tecido vegetal: metodologias analíticas**. 2.Ed. Cascavel: Edunioeste. 155 p., 2016.

MOTOMIYA, W. R.; FABRICIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C.; ROBAINA, A. D.; NOVELINO, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 4, p. 307-312, 2004.

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

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

NUNES, R. D. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p. 877-888, 2011.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.623-631, 2008.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. Atributos químicos de um latossolo bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de ciência do solo**. Viçosa, V.33, n.3, 581-590, 2009.

PAULETTI, V., MOTTA, A. C. V., **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Sociedade Brasileira Ciência do Solo – Núcleo Estadual Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.453-466, 2006.

ROSSI, N. G.; VILAR, C. C.; USHIWATA, S. Y.; REIS, R. G. E; NABEIRO, J. C. X. Influência do modo de aplicação de fertilizante fosfatado na produção de soja em sistema plantio direto e convencional no cerrado. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.11, n.2, p.101-111, 2018.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, V.38, n.2, p.576-586, 2008.

SILVA, A. A.; DELATORRE, C.A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.8, n.2, p. 152-163, 2009.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, p. 147-168, 2004.

TEIXEIRA, R. B.; ROQUE, C. G.; LEAL, A. J. F.; MINOTTO, V. A.; FREITAS, U. C. Formas de aplicação da adubação fosfatada na cultura da soja em semeadura direta. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta-MT, v.11, n.1, p.9-15, 2013.