

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

IDIANARA FERNANDA PIZZATTO

**FONTES E PROFUNDIDADES DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA CULTURA DO
MILHO**

PATO BRANCO

2021

IDIANARA FERNANDA PIZZATTO

**FONTES E PROFUNDIDADES DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA CULTURA DO
MILHO**

Sources and depths of phosphorus application in corn crop

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia - Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Alcir José Modolo

Coorientador(a): José Ricardo da Rocha Campos e Laércio Ricardo Sartor

PATO BRANCO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



IDIANARA FERNANDA PIZZATTO

FONTES E PROFUNDIDADES DE APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Solos E Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.

Data de aprovação: 24 de Setembro de 2021

Prof Alcir Jose Modolo, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Emerson Trogello, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (If Goiano)

Prof Jesse Rodrigo Fink, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (Ifpr)

Prof Luis Cesar Cassol, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Paulo Fernando Adami, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 24/09/2021.

Dedico à Deus: Mentor da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela força dada para superar os obstáculos.

A minha família pelo apoio, ajuda e incentivo para sempre continuar estudando.

Ao Prof. Dr. Alcir José Modolo pela orientação, apoio e sabedoria compartilhada ao longo do trabalho.

Ao Prof. Dr. José Ricardo da Rocha Campos e ao Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor pela coorientação, conversas e apoio no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do PPGAG por repassarem o conhecimento e contribuírem de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos e colegas que de uma maneira ou outra ajudaram no decorrer desta jornada.

A UTFPR Campus Pato Branco e Dois Vizinhos, aos seus professores e funcionários pelo apoio financeiro e estrutural para a realização desta pesquisa.

Ao Laboratório de Solos da UTFPR/Campus Pato Branco (LABSOLOS) pelo auxílio na construção do conhecimento e nas análises efetuadas para a realização deste trabalho.

A Pioneer Sementes e a Empresa Campo Fértil Agronegócios pela doação das sementes de milho.

RESUMO

O fósforo é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades na agricultura, dada sua carência generalizada e baixa disponibilidade no solo, ocasionada pela sua forte afinidade com óxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al), formando compostos de baixa solubilidade. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o rendimento da cultura do milho em função de fontes e métodos de aplicação de fósforo, durante as safras 2018/2019 e 2019/2020. Foram testadas três fontes de fosfatos: superfosfato simples, Top-Phos® e fosfato natural reativo, mais um tratamento controle, sem fornecimento de P, avaliando-se quatro métodos de aplicação (à lanço na superfície e aplicação no sulco de semeadura em 5,0; 8,0 e 11,0 cm de profundidade). Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial, composto por 12 tratamentos + tratamento controle, com quatro repetições. Durante a semeadura foram avaliados os parâmetros de plantabilidade: largura máxima de sulco, área de solo mobilizada e profundidade de semeadura. Para a cultura do milho foram avaliados: estandes inicial e final de plantas, altura inicial e final de plantas, diâmetro inicial e final de colmo, altura de inserção de espiga, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e produtividade. Para o fracionamento de P, para determinação de P-resina e P-total, as amostras foram coletadas em profundidade de 0,0-15,0 cm, estratificadas em três subamostras nas profundidades 0,0-5,0 cm, 5,0-10,0 cm e 10,0-15,0 cm. Os resultados foram submetidos a análises de variância pelo teste F a significância de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico GENES®. A determinação de P-resina e P-total não apresentaram diferenças estatísticas em relação as fontes de adubação fosfatada e as profundidades de adubação. Maiores profundidades de semeadura foram observadas quando o adubo foi aplicado em maiores profundidades. Na safra 2018/2019 houve diferenças significativas, apenas quando se depositou o adubo a 11,0 cm. Para a safra 2019/2020, a profundidade de adubação de 8,0 cm, não apresentou diferenças significativas em relação a profundidade de 11,0 cm de profundidade apresentando maiores médias. Para a largura superficial de sulco, em ambas as safras avaliadas não houve diferenças significativas em relação as diferentes profundidades de adubação, para área de solo mobilizada se observa maiores valores para a profundidade de adubação de 11,0 cm em ambas as safras. Melhor produtividade na cultura do milho na safra 2018/2019 foi verificado para os tratamentos que receberam aplicação de superfosfato simples. Para a safra 2019/2020 não houve diferenças significativas entre as fontes de adubação fosfatada. Não houve diferenças significativas entre as fontes de adubação fosfatada em comparação ao tratamento controle na produtividade final da cultura do milho.

Palavras-chave: Fertilidade; Solubilidade; Produtividade.

ABSTRACT

Phosphorus is one of the nutrients applied in larger quantities in agriculture, given its widespread lack and low availability in the soil, caused by its strong affinity with iron (Fe) and aluminum (Al) oxides, forming compounds with low solubility. In this sense, the present work had as general objective to evaluate the corn crop yield as a function of phosphorus sources and application methods, during the 2018/2019 and 2019/2020 harvests. Three phosphate sources were tested: single superphosphate, Top-Phos® and reactive rock phosphate, plus a control treatment without P supply, evaluating four application methods (surface broadcast and seed furrow application at 5.0; 8.0 and 11.0 cm in depth). A randomized block design, in a factorial scheme, consisting of 12 treatments + control treatment, with four replications, was used. During sowing, the plantability parameters were evaluated: maximum furrow width, mobilized soil area and sowing depth. For corn crop, the following were evaluated: initial and final plant stands, initial and final plant height, initial and final stem diameter, ear insertion height, number of grain rows per ear, number of grains per row, mass thousand grains and productivity. For the fractionation of P, to determine P-resin and P-total, samples were collected at a depth of 0.0-15.0 cm, stratified into three subsamples at depths of 0.0-5.0 cm, 5, 0-10.0 cm and 10.0-15.0 cm. The results were submitted to analysis of variance by the F test at a significance of 5% probability, using the statistical program GENES®. The determination of P-resin and P-total did not show statistical differences regarding the sources of phosphorus fertilization and the fertilization depths. Greater sowing depths were observed when the fertilizer was applied at greater depths. In the 2018/2019 harvest there were significant differences, only when the fertilizer was deposited at 11.0 cm. For the 2019/2020 season, the fertilization depth of 8.0 cm did not present significant differences in relation to the depth of 11.0 cm in depth, presenting higher averages. For the furrow surface width, in both crops evaluated, there were no significant differences in relation to the different fertilization depths, for mobilized soil area higher values were observed for the fertilization depth of 11.0 cm in both crops. Better productivity in corn crop in the 2018/2019 harvest was verified for treatments that received application of simple superphosphate. For the 2019/2020 harvest there were no significant differences between the sources of phosphate fertilization. There were no significant differences between the sources of phosphate fertilization compared to the control treatment in the final yield of the corn crop.

Keywords: Fertility; Solubility; Productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dados meteorológicos observados durante o período experimental nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B).....	30
Figura 2 - Conjunto trator e semeadora/adubadora utilizado na semeadura do milho.....	32
Figura 3 - Croqui do experimento em esquema fatorial conduzido, em delineamento de blocos ao acaso, em função das fontes de fósforo e métodos de aplicação.....	34
Figura 4 - Perfilômetro utilizado para avaliação da área de solo mobilizada e largura máxima de sulco	36
Figura 5 - Altura média de plantas de milho (cm) no estágio (V6), nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das profundidades de adubação e fontes de fósforo	52
Figura 6 - Altura final das plantas de milho (m), safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fósforo.....	53
Figura 7 - Diâmetro de colmo (V6) das plantas de milho (mm), nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B) em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fósforo	55
Figura 8 - Valores médios do diâmetro final de colmo (mm), nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fosforo	56
Figura 9 - Valores médios da altura de inserção de espiga de milho (m), nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fósforo	58
Figura 10 - Valores médios de número de grãos por fileira nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fósforo	65
Figura 11 - Valores médios da massa de mil grãos de milho (g) em função das profundidades de adubação fosfatada na safra 2018/2019	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos químicos do solo da área experimental: matéria orgânica (MO, g dm ⁻³), fósforo (P, mg dm ⁻³), potássio (K, cmol _c dm ⁻³), pH (CaCl ₂), cálcio (Ca, cmol _c dm ⁻³), magnésio (Mg, cmol _c dm ⁻³) e saturação de base (V%)	31
Tabela 2 - Relação dos produtos utilizados nos tratos culturais da cultura do milho, nos dois anos de experimento	33
Tabela 3 - Relação e designação dos tratamentos.....	34
Tabela 4 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio pelo método extração P-resina e P-total em função das profundidades e fontes de adubação	39
Tabela 5 - Teores médios de P-resina e P-total (mg kg ⁻¹) em função das fontes de adubação fosfatada e profundidades de adubação	40
Tabela 6 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio pelo método extração P-resina e P-total em função das profundidades e fontes de adubação em comparação a testemunha	41
Tabela 7 - Teores médios de P-resina e P-total (mg kg ⁻¹) determinados de forma estratificada em função das profundidades e fontes de adubação fosfatada comparadas a testemunha	42
Tabela 8 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres profundidade de semeadura (PS), área de solo mobilizada (ASM) e largura superficial de sulco (LSS), em função de profundidades de adubação.....	45
Tabela 9 - Profundidade de semeadura de milho (PS) nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em função da profundidade de aplicação da adubação fosfatada ...	46
Tabela 10 - Largura superficial de sulco (LSS) na semeadura da cultura do milho nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em função da profundidade de aplicação da adubação fosfatada	48
Tabela 11 - Área de solo mobilizada (ASM) na semeadura da cultura do milho nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em função da profundidade de aplicação da adubação fosfatada.....	49
Tabela 12 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) das variáveis estande inicial de plantas (EIP), altura inicial de plantas (AIP), diâmetro inicial de colmo (DIC), estande final de plantas (EFP), altura final de plantas (AFP), diâmetro final de colmo (DFC) e altura de inserção de espiga (AIE) em relação a diferentes fontes de adubação fosfatada e profundidades de adubação.....	50
Tabela 13 - Diâmetro final de colmo em função das fontes de adubação fosfatada, safra 2019/2020	57
Tabela 14 - Altura de inserção da espiga em função das fontes de adubação fosfatada na safra 2019/2020.....	58
Tabela 15 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos das variáveis estande inicial de plantas (EIP), altura inicial de plantas (AIP), diâmetro inicial de colmo (DIC), estande final de plantas (EFP), altura final de plantas (AFP), diâmetro final de colmo (DFC) e altura de inserção de espiga (AIE) em relação a fontes e profundidades de adubação em comparação a testemunha	59

Tabela 16 - Estande inicial de plantas (EIP, pl ha⁻¹), altura inicial de plantas (AIP, m), diâmetro de inicial de colmo (DIC, mm) no estágio de desenvolvimento V₆, estande final de plantas (EFP, pl ha⁻¹), altura final de planta (AFP, m), diâmetro final de colmo (DFC, mm) e altura de inserção de espiga (AIE, m), em função das profundidades e fontes de adubação fosfatada comparadas a testemunha	60
Tabela 17 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos das variáveis número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), massa de mil grãos (MMG) e produtividade final do milho (PFM) em função das profundidades e fontes de adubação fosfatada	63
Tabela 18 - Número de fileiras por espiga de milho em função das fontes de adubação fosfatada, nas safras 2018/2019 e 2019/2020	63
Tabela 19 - Número médio de grãos por fileira em função das fontes de adubação fosfatada, nas safras 2018/2019 e 2019/2020	64
Tabela 20 - Produtividade final de milho em função das fontes de adubação fosfatada, safra 2019/2020	67
Tabela 21 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios das variáveis número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por linha (NGL), massa de mil grãos (MMG) e produtividade final de milho (PFM) kg ha⁻¹ em função das profundidades e fontes de adubação em comparação a testemunha	69
Tabela 22 - Número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por linha (NGL), massa de mil grãos (MMG) e produtividade final de milho (PFM) kg ha⁻¹ em função das profundidades e fontes de adubação	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DERAL	Departamento de Economia Rural
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PR	Paraná
SEAB	Secretária de Agricultura e Abastecimento
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

C/N	Relação carbono nitrogênio
Cfa	Clima subtropical úmido
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
cmol	Centimol
cv	Cavalos
CV	Coefficiente de variação
dm ³	Decímetro cúbico
g	Gramas
h	Hora
ha	Hectares
kg	Quilograma
km	Quilometro
kW	Quilowatt
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
NPK	Fertilizante com nitrogênio, fósforo e potássio
ns	Não significativo
rpm	Rotações por minuto
t	Tonelada
TDA	Tração dianteira auxiliar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Importância econômica da cultura do milho.....	17
2.2	Manejo da cultura do milho	18
2.3	Fósforo na planta	20
2.4	Fósforo no solo	21
2.5	Fósforo no solo	23
2.5.1	Superfosfato simples	25
2.5.2	Fosfato natural.....	25
2.5.3	Top-Phos®	26
2.6	Formas de aplicação de fósforo no solo.....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	Caracterização do local do estudo	30
3.2	Condução do experimento	31
3.2.1	Semeadura da aveia e manejo da palha	31
3.2.2	Semeadura do milho e tratos culturais	31
3.2.3	Delineamento experimental.....	33
3.3	Variáveis resposta.....	35
3.4	Análise estatística	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1	Fracionamento de fósforo no solo.....	39
4.2	Fracionamento de fósforo no solo com tratamento adicional	41
4.3	Parâmetros de plantabilidade.....	45
4.3.1	Profundidade de semeadura	46
4.3.2	Largura superficial do sulco.....	47
4.3.3	Área de solo mobilizada	48
4.4	Desenvolvimento da cultura do milho.....	49
4.4.1	Estande inicial e final de plantas	50
4.4.2	Altura inicial e final de plantas	51
4.4.3	Diâmetro inicial e final de colmo	54
4.4.4	Altura de inserção de espigas	57
4.5	Desenvolvimento da cultura do milho com tratamento adicional....	59
4.6	Componentes de rendimento e produtividade de milho.....	62

4.6.1	Número de fileiras por espiga.....	63
4.6.2	Número de grãos por fileira	64
4.6.3	Massa de mil grãos	66
4.6.4	Produtividade de grãos.....	67
4.7	Componentes de rendimento e produtividade do milho com tratamento adicional	69
5	CONCLUSÕES	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
	REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do setor agrícola associado a modernização da agricultura a partir dos avanços tecnológicos são fundamentais para o aumento da produtividade, tornando-se necessário para a ampliação da oferta de alimentos, diante das restrições sobre a expansão do uso de terra para uso agrícola associado a demanda devido ao crescimento populacional (SAATH; FACHINELLO, 2018).

No sistema plantio direto, os fertilizantes são aplicados nas camadas superficiais do solo o que aumenta a necessidade de conhecer a mobilidade dos nutrientes no perfil, bem como, a interação dos elementos com os colóides com o solo (RODRIGUES *et al.*, 2016). O conhecimento deste complexo, por meio de pesquisas relacionadas à nutrição de plantas irá ajudar na escolha das técnicas mais adequadas de adubação do solo, incluindo épocas, fontes e métodos de aplicação dos fertilizantes, tanto sob o ponto de vista agrônomo quanto ambiental (BARBOSA *et al.*, 2015).

Nesse sentido, o fósforo (P) é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades no Brasil, dada sua carência generalizada e baixa disponibilidade no solo, ocasionada pela sua forte afinidade com óxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al), formando compostos de baixa solubilidade. Essa carência está relacionada ao fenômeno de fixação, envolvendo reações de precipitação e adsorção, principalmente nos solos muito intemperizados, ácidos e oxidados. Portanto, ao contrário dos demais nutrientes, a adubação com fósforo assume a particularidade de aplicações em quantidades maiores às exigidas pelas plantas (TELES *et al.*, 2017).

A adubação com fósforo utilizada na produção de grãos pode ser utilizada em linha ou à lanço (superfície). Quando o fertilizante é aplicado à lanço, este pode ou não ser incorporado ao solo, no sulco de semeadura ou em covas, sendo utilizado principalmente em cultivos de espécies perenes (SOUZA *et al.*, 2018), já a aplicação em superfície, proporciona desenvolvimento superficial das raízes, limitando as plantas de explorar a fertilidade natural do solo, bem como se tornam mais sensíveis a estiagem e ao tombamento (SILVA *et al.*, 2012). Apesar disso, esta técnica proporciona maior rendimento operacional de forma que, não há necessidade de interromper o trabalho da semeadora para abastecer o reservatório de fertilizantes, apenas as caixas de sementes, otimizando o tempo gasto nas

operações de plantio, tanto na primeira como na segunda safra (BARBOSA *et al.*, 2015).

Quando o fósforo é aplicado em profundidade, ocorre o aumento de sua concentração próximo às raízes, ocasionando a redução da adsorção em função do menor contato do fertilizante com o solo e disponibilizando teores maiores de nutrientes às plantas. Por outro lado, com a aplicação de fósforo em profundidade, se tem maior área de solo mobilizado na linha de semeadura, provocando aumento na incidência de plantas daninhas e maior esforço de tração demandada pela semeadora-adubadora (MCDOWELL; LITTLEJOHN; BLENNERHASSETT, 2010), bem como, suscetibilidade de aumento da erosão (DYONISIO, 2010).

A aplicação dos fertilizantes fosfatados em profundidade pode beneficiar a cultura, tendo em vista a possibilidade de estímulo ao aprofundamento do sistema radicular das plantas (ANDREA; ROMANELLI; MOLIN, 2016), bem como obter produtividades satisfatórias das culturas, aliada a adoção de tecnologias, que interfiram nos fatores relacionados de produção de cada cultura, entre as quais se destaca o uso de corretivos e de fertilizantes (TAKASU; HAGA; RODRIGUES 2014).

O fornecimento de fósforo pode ser realizado por várias fontes de fertilizantes, sendo necessário o conhecimento da origem mineralógica, da solubilidade e dos teores totais (RAMOS *et al.*, 2009).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a disponibilidade de fósforo no solo e o rendimento da cultura do milho em função de fontes e métodos de aplicação de fósforo, durante duas safras consecutivas.

Como objetivo específico, se tem:

- Avaliar largura de sulco, área de solo mobilizada e profundidade de semeadura na cultura do milho em função das profundidades de adubação;
- Avaliar o desenvolvimento, componentes de rendimento e produtividade da cultura do milho em função de fontes e métodos de aplicação de fertilizantes fosfatado;
- Estudar a relação entre a forma de aplicação do fertilizante fosfatado e o rendimento da cultura do milho;
- Analisar a influência dos métodos de aplicação e da fonte do fertilizante fosfatado na forma de ocorrência do P no solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) tem importância econômica e social, uma vez que é utilizado como matéria prima em diversos setores produtivos, devido ao seu alto valor energético e nutritivo. A produção mundial desse cereal é de aproximadamente 1.060 milhões de toneladas na safra 2020/2021, sendo os principais produtores os Estados Unidos (384 milhões de toneladas) e China (231 milhões de toneladas) (CONAB, 2021).

O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking de maior produtor mundial de milho, com produção total estimada na safra 2020/2021 de 93.784 milhões de toneladas em área cultivada de 19.867 milhões de hectares, com produtividade média de 4.721 kg ha⁻¹. O Estado Paraná representa a segunda maior produção brasileira de milho, com aproximadamente 9.614 milhões de toneladas em área de 2.878 milhões de hectares e produtividade média de 3.341 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

De acordo com Adami (2012), alguns aspectos têm contribuído para melhorar a produtividade de milho no Brasil, tais como a adaptação de cultivares as mais variadas situações de clima e solo, melhoramento genético, a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos cultivados e a adoção de práticas culturais mais adequadas no controle de plantas daninhas e pragas.

Para o milho, em sistemas mais tecnificados, os gastos com sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas, hora máquina e demais custos representam, em média, 40 a 45% do custo de produção (ARTUZO *et al.*, 2018). Os gastos com a adubação fosfatada representam parte considerável do custo das lavouras e variam, dependendo da fonte de fósforo utilizada e da sua solubilidade. Para Lana, Buck e Lana (2014), antes da escolha da fonte de adubação a ser aplicada deve-se avaliar a relação custo/benefício, evitando doses excessivas, fontes menos eficientes na disponibilidade de fósforo e com custo elevado. Para os autores supracitados, a relação de eficiência deve estar relacionada à parte da planta de interesse econômico para que não se tenha alto teor de P no tecido foliar e baixa produção econômica, evitando desperdício e aumentando a renda do produtor.

Além do uso de alta tecnologia, deve-se considerar ainda outros fatores para se alcançar boa produtividade de milho, como população ideal de plantas e

zoneamento agrícola, no qual a temperatura média diária deve ficar acima de 19 °C e a média noturna entre 12,8 e 25 °C durante o período de cultivo (MAPA, 2020).

2.2 Manejo da cultura do milho

O milho é uma planta de origem tropical e necessita de calor e água durante seu ciclo vegetativo para que ocorra desenvolvimento satisfatório (PAZIANI; DUARTE; NUSSIO, 2009). Seu ciclo vegetativo varia de 110 a 180 dias de acordo com a classificação dos cultivares, podendo ser classificados em superprecoce, precoce ou normal, período compreendido entre a emergência e o florescimento (SILVA *et al.*, 2014).

O rendimento da cultura está relacionado as características climáticas, sendo necessário que durante o ciclo da cultura a faixa térmica entre 10 e 30 °C. Em relação a necessidade hídrica, o cultivo de milho pode demandar cerca de 450 e 600 mm por hectare de água (FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2014).

Outro fator importante é a radiação solar, já que esse tem influência na produtividade. Na cultura do milho a intensidade da radiação solar que chega as plantas, depende do espaçamento entre plantas, estágio fenológico, densidade de plantio, arquitetura foliar e sistema de manejo da cultura (FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2014).

Alguns manejos para minimizar os efeitos do clima podem ser aplicados, como adequar a data de semeadura, levando em consideração o zoneamento agrícola estabelecido para cada região, observando principalmente que o período de temperaturas mais elevadas e alta disponibilidade de radiação solar coincidam com a fase de enchimento de grãos da cultura (SANTOS *et al.*, 2018).

Da mesma forma, a densidade de plantio possui grande influência no rendimento final da cultura. A população ideal para maximizar o rendimento de grãos de milho varia de 30.000 a 90.000 plantas ha⁻¹ (DEMÉTRIO; FORNASIERI FILHO; CAZETTA, 2008), assim como a profundidade de semeadura recomendada deve ficar entre 3,0 e 5,0 cm, levando em consideração temperatura, umidade e tipo de solo, disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, ciclo da cultivar, época de semeadura e espaçamento entre linhas (CRUZ *et al.*, 2010).

A recomendação de adubação de base para a cultura do milho deve ser de acordo com a análise do solo. Para adubação nitrogenada na cultura do milho recomenda-se aplicar de forma parcelada a quantidade de 120 a 180 kg de N, para

fosfatadas teores entre 100 a 120 kg de P_2O_5 e 120 a 150 kg de K_2O ha^{-1} (PAULETTI; MOTTA, 2019).

As práticas culturais realizadas na lavoura após a semeadura/adubação e que antecedem a colheita são realizadas de forma a permitir que as plantas possam expressar seu potencial produtivo e facilitar o processo da colheita. Essas práticas estão relacionadas ao controle das plantas invasoras (daninhas), das pragas e das doenças ocorrentes (CASTRO; CRUSCIOL; NEGRISOLI, 2011).

No sistema plantio direto, em função da deposição de palhada, contribui para a redução da capacidade competitiva entre cultura de interesse e plantas invasoras, quando estas ocorrem o controle pode ser realizado por meio do manejo integrado de plantas daninhas. O controle químico, ainda é o método mais empregado no manejo de plantas daninhas na cultura de milho.

Entre as principais plantas daninhas na cultura do milho podemos destacar: milhã (*Brachiaria fasciculata*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), colonião (*Panicum maximum*), papuã (*Brachiaria plantaginea*), corda-de-viola (*Ipomoea aristolochiaefolia*), picão-preto (*Bidens pilosa*), buva (*Conyza bonariensis*) e guanxuma (*Sida rhombifolia*) (TREZZI *et al.*, 2008; ADEGAS; VOLL; GAZZIERO 2011).

A diversidade de pragas que causam prejuízos à cultura do milho é enorme, bem como os danos podem ser elevados, devido as diferentes formas de controle, intensidade e dano econômico causados. As pragas mais frequentes na cultura do milho são: alagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*), lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), percevejo (*Cimex lectularius* L.), o bicudo (*Anthonomus grandis* B.), lagarta-rosca (*Nomophila* sp.), lagarta-medideira (*Pseudoplusia includens*) e broca do milho (*Sesamia nonagrioides* Lef.) (MICHELOTTO; FINOTO; MARTINS, 2011).

Em relação a doenças, Mesquini *et al.* (2020) salientam que as doenças na cultura do milho têm aumentado muito nos últimos anos, devido, principalmente, ao manejo adotado, juntamente com às mudanças climáticas, vem provocando prejuízos aos produtores, o controle das doenças pode ser realizado através do plantio de cultivares resistentes, rotação de culturas, adoção de técnicas que evitem a permanência de restos culturais em áreas onde houve indícios de doenças.

A colheita deve ser realizada quando o grão atinge teor de umidade varie entre 15 e 25%, para umidade com teor acima de 18%, tornar-se-á necessário, a posterior secagem dos grãos (SILVA *et al.*, 2014).

2.3 Fósforo na planta

O fósforo é um dos principais nutrientes, estando presente em diversos processos metabólicos como fotossíntese, respiração, transferências de genes e processos que envolvem transferência de energia, além de atuar no processo de síntese de macromoléculas e absorção ativa de nutrientes interagindo com outros elementos, afetando a sua disponibilidade no solo e na nutrição vegetal (BULL *et al.*, 2004; BARBOSA *et al.*, 2015).

No metabolismo, o fósforo está relacionado ao estabelecimento e desenvolvimento das plantas, estimulando a germinação, melhorando o sistema radicular, especialmente das raízes secundárias que têm função de absorção de água e nutrientes. Devido ao efeito na expansão do sistema radicular, as plantas podem explorar maior volume de solo e suportar melhor a falta de água. As plantas bem nutridas em fósforo resistem melhor as doenças, baixas temperaturas e déficit hídrico (PENATTI, 2013).

Os teores de P nas plantas variam de 0,5 a 3,0 g kg⁻¹ de matéria seca, considerando os teores entre 1,0 e 1,5 g kg⁻¹ como adequados para o crescimento normal das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

A deficiência de P na planta pode ser observada por um leve arrouxeamento das extremidades e na nervura central das folhas, as plantas apresentaram porte reduzido, exatamente por esse elemento estar associado à função estrutural e ao processo de transferência e de armazenamento de energia, afetando, plantas com caules finos, folhas pequenas, crescimento lateral limitado (SICHOCKI *et al.*, 2014). Como o P se move rapidamente dos tecidos mais velhos para os mais jovens a deficiência aparece primeiro nas partes baixas da planta (folhas velhas). À medida que a planta se torna mais velha parte do P se move para as semente e frutos (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

O P caracteriza-se como um dos macronutrientes exigido em menor quantidade pelas plantas, entretanto, é um dos nutrientes mais usados para a adubação. Este fato ocorre devido a carência de fósforo nos solos brasileiros, pois este elemento apresenta forte interação com o solo, sofrendo intensa fixação (SCHUMACHER; CECONI; SANTANA, 2004).

Para o milho, embora as exigências de P sejam bem menores em relação ao nitrogênio (N) e potássio (K), as doses recomendadas são altas, em função da baixa eficiência. Somente cerca de 20 a 30% do P aplicado como forma de adubação em

solos considerados argiloso é aproveitado pela cultura, decorrente da alta capacidade de adsorção do P adicionado ao solo, reduzindo sua disponibilidade às plantas (CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004). Os autores indicaram que, para cada tonelada de grãos produzida, são exportados cerca de 9 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ou seja, aproximadamente 80 a 90% do P absorvido são exportados com os grãos.

2.4 Fósforo no solo

O fósforo se apresenta na solução do solo nas formas aniônicas de H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻ e PO₄³⁻. Quando presente no solo, o fósforo encontra-se nas frações lábil, moderadamente lábil e não lábil, em que estão presentes o P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po), em ligações com Fe, Al, Ca, argilas silicatadas e óxidos de Fe e de Al em que suas concentrações variam constantemente já que dependem das características do solo, como por exemplo o pH do solo (HAVLIN *et al.*, 2005; NOVAIS; SMITH, 1999; MENDES; REIS JÚNIOR, 2003; CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013; JUNIO; SAMPAIO; NASCIMENTO, 2013).

A deficiência de fósforo na forma lábil no solo é um dos principais fatores que influenciam na baixa produtividade das culturas em solos tropicais e subtropicais (WITHERS *et al.*, 2015). A disponibilidade de fósforo para as plantas está relacionada à fixação deste elemento aos coloides do solo, desta forma, há necessidade constantes aplicações de P, o que representa aumento nos custos de produção (GAZOLA *et al.*, 2013; VALADÃO *et al.*, 2015).

De acordo com Alcântara Neto *et al.* (2010), a baixa disponibilidade de fósforo no solo proporciona limitação na produção das culturas, pois sua deficiência ocasiona redução da produtividade e no porte da planta, já o suprimento adequado de fósforo para a planta, promove incrementos significativos na produção no primeiro ano de cultivo, quando se aplica fontes de adubações fosfatadas com maior teor de solubilidade no solo.

A adoção do sistema plantio direto (SPD) pode interferir na dinâmica e disponibilidade do P no solo em virtude da resposta das culturas à adubação fosfatada. O não revolvimento do solo no SPD, além de reduzir os processos erosivos, proporciona maior teor de água, diminui o contato entre os coloides do solo e o íon fosfato, reduzindo as reações de adsorção (CARNEIRO *et al.*, 2011).

No SPD ocorre o aumento de matéria orgânica nos horizontes superficiais, em decorrência da deposição de palhada, decrescendo com a profundidade. A

matéria orgânica contribui para o incremento de P nas formas mais lábeis pois possui capacidade de solubilizar P mediante a exsudação de suas raízes, a qual contém ácidos orgânicos, que agem na dissolução do coloide, alimentando o P na solução do solo (GONÇALVES *et al.*, 1985; CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004; NUNES *et al.*, 2011).

No solo a matéria orgânica interage com os óxidos de Al e Fe resultando na redução dos sítios de fixação, pois causam o recobrimento da superfície desses óxidos por moléculas de ácidos húmicos, acético e málico, ou pela formação de compostos na solução do solo. Ocorrendo, assim, uma tendência de menor fixação e, portanto, maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada (GONÇALVES *et al.*, 1985; NUNES *et al.*, 2011).

Para Tiecher, Santos e Kaminski (2012), as mudanças provocadas na distribuição das formas de P do solo podem ser associadas ao sistema de preparo do solo, à quantidade de P exportada na colheita, à taxa de reposição do P exportado do sistema e à habilidade das plantas em utilizar as reservas de P das formas menos lábeis.

Solos bem drenados, estruturados, moderadamente ácidos e de fertilidade muito variável, se caracterizam por apresentarem baixa disponibilidade de P, devido à tendência deste elemento de formar compostos estáveis de alta energia de ligação e baixa solubilidade com a fase sólida mineral do solo, principalmente com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (RANNO *et al.*, 2007).

Solos argilosos necessitam de altas doses de fósforo, a fim de se obter rendimento satisfatório em culturas comerciais. Como forma de solucionar o problema relacionado aos custos dos fosfatos solúveis obtidos pelos processos convencionais de solubilização, outras fontes alternativas de adubação fosfatada estão sendo testadas em experimentos (HANGER *et al.*, 2007).

Os teores de P presente na solução do solo é influenciada através das reações de adsorção e dessorção por óxidos de ferro, apresentando interações com a matéria orgânica. Desta forma, a recomendação de fertilizantes através de metodologias que consideram as interações entre componentes do solo, como óxidos, matéria orgânica, e a capacidade de adsorção de fósforo, tornam-se mais confiáveis para garantir o uso eficiente e racional de fertilizantes fosfatados (FINK *et al.*, 2016).

Quando a aplicação do fertilizante no sistema agrícola é maior do que a

demanda necessária para crescimento de plantas, o P excessivo no solo pode ser perdido superficialmente. O solo pode desempenhar a função de fonte ou dreno de fósforo, quando apresentar reservas favoráveis à planta ou quando competir com a planta, fixando parte do fósforo adicionado como fertilizante, respectivamente (LOURENZI *et al.*, 2015).

A eficiência agronômica da adubação fosfatada é fortemente afetada pela natureza físico-química do fertilizante, propriedades do solo (acidez, textura, mineralogia e matéria orgânica), práticas de manejo e espécies vegetais cultivadas. A solubilização de adubos fosfatados depende principalmente das propriedades do solo e da planta cultivada (FOLONI *et al.*, 2008). Em condições que exigem a aplicação de altas taxas de fertilizantes fosfatados, tem se buscado a implantação de espécies que contribuem na absorção e uso do P, visando aumentar rendimentos, reduzir os custos de produção e dano ambiental (RAMOS *et al.*, 2009).

A eficiência da adubação com fontes de P está relacionada ao modo de aplicação, sendo realizada na linha de plantio ou à lanço em área total, tradicionalmente, é recomendada a aplicação das fontes solúveis, de maneira localizada, no sulco de plantio (PRADO *et al.*, 2001; CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013).

2.5 Fósforo no solo

O fósforo, dentre os macronutrientes primários apresenta diversas fontes como forma de adubação fosfatada, as quais variam quanto à solubilidade e teores. Os fosfatos de alta reatividade correspondem a mais de 90% do P_2O_5 utilizado na agricultura brasileira. Apresentam alta eficiência agronômica em curto prazo e elevado custo por unidade (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008; FRANDOLOSO *et al.*, 2010).

Os fosfatos solúveis, como o superfosfato simples e superfosfato triplo, têm a sua eficiência diminuída ao passar do tempo, devido ao processo de fixação de P (MARIN *et al.*, 2015). Já os fosfatos naturais, são insolúveis em água, se dissolvem lentamente e tendem a aumentar a disponibilidade de P para as plantas com o passar do tempo (MCLAREN *et al.*, 2014).

Os minerais primários fosfatados mais comuns são as apatitas, de onde o fósforo é liberado durante a intemperização, resultando em minerais secundários mais estáveis, ou incorporados a compostos orgânicos por atividade biológica. A

dinâmica do P presente no solo está relacionada as atividades dos organismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, atuando nas propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (SANTOS *et al.*, 2008).

As principais fontes industriais de fertilizantes contendo P utilizadas na agricultura são obtidas por meio do tratamento de rochas fosfáticas (fosfatos naturais). Devido a sua baixa solubilidade em água, os fosfatos naturais podem sofrer processos físicos (lavagem) e químicos (acidulação) com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido fosfórico (H_3PO_4) (PRADO *et al.*, 2011). No Brasil são fabricados principalmente os fertilizantes fosfatados parcialmente acidulados como superfosfato simples e superfosfato triplo, pois apresentam rápida solubilidade no solo (SOUZA *et al.*, 2014).

O tratamento dos fosfatos tem a finalidade de aumentar a solubilidade do fertilizante em água e a concentração de P, produzindo desta forma o superfosfato simples, superfosfato triplo e outros fertilizantes fosfatados, denominados de fertilizantes acidulados ou solúveis (FREITAS *et al.*, 2017). As fontes de adubação fosfatada como os fosfatos naturais reativos, são classificados quanto às solubilidades em água, citrato neutro de amônio e ácido cítrico, analisados conformes a legislação brasileira (SOUSA; LOBATO, 2003).

De acordo com critérios estabelecidos pela legislação brasileira, os teores mínimos de P solúvel em água são 15% para o superfosfato simples, 36% superfosfato triplo, 38% diamônico (DAP) e 44% monoamônico (MAP) (CHAVES; ZUCARELI; OLIVEIRA JUNIOR, 2013).

Estes fosfatos apresentam como característica maior efeito residual, permanecendo na solução do solo por maior período, tornando-se uma alternativa como fontes de adubação fosfatada (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Em relação aos fosfatos naturais, a dissolução depende da superfície de contato com o solo, das características químicas do solo, sendo aumentada quando o fertilizante for aplicado em área total e incorporado ao solo. Fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade em água liberam o P no solo mais lentamente, diminuindo a sua fixação no solo, além de apresentarem menor custo. Os fosfatos acidulados apresentam alta eficiência agrônômica em curto prazo, entretanto apresentam maior custo (PRADO *et al.*, 2001; CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013).

2.5.1 Superfosfato simples

Na fabricação do superfosfato simples são utilizados como matéria-prima a apatita e fosforita, materiais esses que possuem impurezas como sequeióxidos de ferro e alumínio, fluoreto de cálcio e sílica. O processo de fabricação do superfosfato simples consiste na secagem, trituração, pulverização e ataque com ácido sulfúrico, sendo uma mistura de concentrado fosfático com ácido sulfúrico e água. O superfosfato simples, apresenta maior solubilidade em água e em citrato neutro de amônio e sua formulação apresenta teores variando entre 16 e 20% de P_2O_5 ; 18 a 21% de Ca e 11 a 12% S os quais estão prontamente disponíveis as plantas (BARBOSA *et al.*, 2015; REETZ, 2017).

Collier, Correia e Ramos, (2008) avaliando a produtividade do milho com a aplicação de superfosfato simples e fosfato natural reativo, na dose de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 , por meio de dois modos de aplicação, localizada no sulco de semeadura e em superfície, verificaram para os tratamentos que receberam superfosfato simples no sulco de semeadura, apresentou rendimento de $1.072,4 \text{ kg ha}^{-1}$ superior, quando comparado com o fosfato natural reativo.

Lana *et al.*, (2007), avaliando a eficiência da adubação fosfatada com superfosfato simples aplicado à lanço na produtividade da soja durante cinco anos consecutivos em sistema plantio direto, verificaram respostas significativas na produtividade da cultura com aumento das doses de P (0, 60, 90 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5). Para os autores houve aumento gradativo na produtividade devido ao acúmulo de P no solo.

2.5.2 Fosfato natural

O fosfato natural apresenta o menor custo sendo proveniente de rocha fosfatada com aproximadamente 24% de fósforo total, porém possui reduzido teor de fósforo solúvel. Este material é uma excelente fonte de fósforo de fácil acesso aos agricultores, desde que atenda às necessidades de fósforo nos cultivos anuais (ARAUJO, 2011). Os fosfatos naturais podem ser divididos em fosfatos naturais de baixa reatividade, sendo de origem ígnea ou metamórfica e fosfatos naturais reativos de origem sedimentar (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

As fontes de fosfatos naturais reativos mais comercializados são o Gafsa, importado da Tunísia, o Arad, importado de Israel e Marrocos, apresentando em sua

formulação 27% de P_2O_5 total (FRANDOLOSO *et al.*, 2010).

O uso dos fosfatos naturais reativos, na substituição das fontes solúveis, ainda suscita dúvidas em relação ao melhor manejo. No entanto, existe consenso de que os fosfatos mais solúveis proporcionam maior resposta no ano da aplicação, enquanto os fosfatos naturais têm menor eficiência inicial (ONO *et al.*, 2009).

A utilização de fosfatos naturais como fonte de adubação geralmente apresenta menor eficiência quanto a sua solubilização, pois as rochas fosfáticas são apenas moídas, envolvendo menores custos em seu processo de fabricação, como a solubilização dá-se ao longo de vários anos, essas fontes de P de baixa solubilidade não possuem capacidade de fornecer nutrição inicial requerido pelas plantas. Estudos sugerem a aplicação desta fonte de adubação em conjunto com outras fontes de maior solubilidade de fósforo no solo, devido ao seu maior tempo de solubilização no solo (BEZERRA *et al.*, 2014; DUARTE *et al.*, 2015).

A aplicação com fosfatos naturais torna-se uma alternativa para solos que apresentam boa fertilidade e teores de P elevados, pois apresentam menores custos, porém deve-se levar em consideração as condições de solo, manejo e cultura a ser implantada (SCHONINGER; ATIBONI; ERNANI, 2013). Souza *et al.* (2014) afirmam que a utilização de fosfatos naturais apresenta menor solubilidade, devido ao seu beneficiamento ser mais simplificado em relação às fontes totalmente aciduladas.

Resende *et al.* (2006), avaliando a eficiência do fosfato natural reativo de Arad em Argissolo Vermelho Distrófico típico, de textura argilosa, na quantidade de 180 kg ha^{-1} , verificaram maior produtividade de grãos de milho quando o fosfato natural foi aplicado à lanço e incorporado, em comparação ao aplicado no sulco.

Junio, Sampaio e Nascimento (2013), avaliando a produtividade do milho em Cambissolo, utilizando doses de fosfato natural de Gafsa (0 e 90 kg ha^{-1}), verificaram que a produtividade não foi influenciada pela adubação fosfatada, embora o teor inicial de fósforo no solo fosse baixo, na ordem de $3,2 \text{ mg dm}^{-3}$. Para os autores este fato pode ser atribuído à baixa taxa de solubilização do fosfato natural.

2.5.3 Top-Phos®

Solos mais intemperizados com elevada capacidade de adsorção de P, o nutriente fosfatado oriundo de fontes mais solúveis são rapidamente convertidos em formas menos disponíveis para as plantas, reduzindo assim sua eficiência

(LOURENZI *et al.*, 2014).

Uma das técnicas adotadas para a redução da fixação de P é através da adoção de fontes com liberação gradual, fazendo com que o contato do fósforo com os óxidos de Fe e Al e a argila seja menor, diminuindo a formação de compostos estáveis (SILVA *et al.*, 2012; GAZOLA *et al.*, 2013).

Como forma de promover a maior disponibilidade de fósforo no solo, pesquisas vêm sendo desenvolvidas em relação a produção de adubos revestidos (JAGADEESWARAN; MURUGAPPAN; GOVINDASWAMY, 2005; GUARESCHI *et al.*, 2008) como o Top-Phos[®], que tem em sua composição 3% de N; 28% de P; 10% de Ca; 5% de S; 0,12% de Cu; 0,12% de B; 0,3% de Mn e 0,3% de Zn com tecnologia Timac Agro, fertilizante fosfatado protegido que promove a proteção do elemento P da fixação com Al, Fe e Ca, tornando este nutriente mais disponível e aproveitável pelas plantas (ALMEIDA *et al.*, 2016).

O Top-Phos[®] se caracteriza por proporcionar maior disponibilidade de P na solução do solo. Além de apresentar maiores concentrações de nutrientes em sua composição, gera economia em função de menores aplicações, otimização do tempo de plantio, estocagem e frete (SILVA *et al.*, 2012). De acordo com Figueiredo, Barbosa e Oliveira (2012), o uso de fósforo contendo N em sua composição vem sendo apresentado como uma nova opção para a redução da adsorção de P pelos colóides do solo.

Almeida *et al.* (2016), avaliando os efeitos da aplicação dos fertilizantes fosfatados, superfosfato simples, Top-Phos[®] e controle (sem aplicação de fertilizante) na cultura do milho, verificaram que o Top-Phos[®] promoveu maior produtividade de grãos e matéria seca de milho, liberando o nutriente de forma gradual. Os tratamentos que receberam adubação com Top-Phos[®] apresentaram produção de grãos superior de 1.293 kg ha⁻¹ em relação aos tratamentos com superfosfato simples. Em relação ao teor de matéria seca, a produção foi de 1.861kg ha⁻¹ superior quando se fez o uso do Top-Phos[®].

Esta fonte de fertilizante fosfatado, tornar-se opção para a redução da adsorção de P pelos colóides do solo, pois devido as características deste fertilizante, não ocorre a complexação do P pelos óxidos e hidróxidos de Fe e de Al o que permite que o fósforo esteja disponível para absorção pelas plantas (FIGUEIREDO; BARBOSA; OLIVEIRA, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2016).

Leite *et al.* (2017) avaliando durante três safras consecutivas a aplicação do

fertilizante Top-Phos® na cultura da soja, através de cinco tratamentos nas dosagens de adubação fosfatada 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. Verificaram resultados superiores de 29% e 27% em relação a produtividade da soja, para a segunda e terceira safra, respectivamente nos tratamentos que receberam aplicação do fertilizante Top-Phos®, em comparação aos tratamentos sem adubação fosfatada. Para os autores supracitados anteriormente para a primeira safra avaliada, houve baixa precipitação pluviométrica durante a fase reprodutiva da soja prejudicou os parâmetros avaliados em relação a produtividade, o que pode ter influenciado nos resultados observados, quando comparado as safras seguintes.

2.6 Formas de aplicação de fósforo no solo

O modo de aplicação dos fertilizantes durante o momento de semeadura está relacionado a distribuição de nutrientes no solo, porém deve-se ter atenção especial devido à suscetibilidade de perdas dos nutrientes por processos erosivos. A profundidade de adubação está relacionada a distribuição de raízes no solo, bem como o sistema de manejo, pois maior revolvimento do solo pode influenciar positivamente no crescimento radicular e conseqüentemente no desempenho das culturas (COSTA *et al.* 2009).

Para Teixeira *et al.* (2013) o sistema de semeadura direta em substituição ao sistema de cultivo convencional ocasiona a adição de fertilizantes fosfatados nos centímetros superficiais, o que ao longo de anos de cultivo, provoca maior acumulação de P-total na camada superficial.

A aplicação da adubação pode ser realizada em linhas ou à lanço, resultando na formação de gradientes em atributos químicos do solo (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000). A adubação à lanço quando incorporada ao solo faz com que praticamente todo fertilizante fosfatado entre em contato com o solo, elevando a adsorção de P e conseqüentemente redução da disponibilidade para as plantas. Entretanto, a crescente prática de manejo da adubação fosfatada à lanço na superfície sem incorporação, vem sendo realizada em diversas regiões produtoras de grãos no país (CHIEN; PROCHNOW; MIKKELSEN, 2010; MACHADO *et al.*, 2012; BATISTELLA FILHO *et al.*, 2013). Aplicações de fertilizantes à lanço contribuem para maior contato da fonte de adubação com o solo, porém ocasionam elevada adsorção de P, conseqüentemente reduz o aproveitamento pela planta (BERNARDI *et al.*, 2009).

De acordo com Nunes *et al.* (2011) e Chueiri (2005) as aplicações de adubos fosfatados na superfície permitem maior rapidez no plantio, pois a adubação antecipada permite o plantio apenas com as sementes ou com quantidade menor de fertilizante. Além de que as plantas desenvolvem menor volume radicular e em superfície, ocasionando baixa capacidade de exploração da fertilidade do solo, podendo sofrer perdas de produtividade em períodos de estiagem. Porém, para os adubos fosfatados aplicados em solos argilosos devido a sua maior reação de adsorção e precipitação no solo, a forma mais adequada de aplicação destes nutrientes é em profundidade, concentrando na linha de semeadura, posicionando o adubo abaixo e ao lado da linha de distribuição das sementes (CERETTA; SILVA; PAVINATTO, 2007).

A realização da adubação em sulco de semeadura proporciona maior vigor de plantas além de contribuir no potencial de rendimento da cultura, minimizando efeitos ocasionados ao estresse hídrico em períodos de estiagem, devido a maior disponibilidade de nutrientes, assim como melhora o desenvolvimento radicular. Em áreas com menor disponibilidade de nutrientes, a adubação no sulco promove ganhos em relação a produtividade (TEIXEIRA; LIMA; MIELEZRSKI, 2018).

A disponibilidade de P aplicado no sulco de semeadura facilita o desenvolvimento inicial das plântulas, proporciona um estande mais vigoroso, mais competitivo, garantindo uma lavoura mais uniforme e com maior potencial produtivo (MARIN *et al.*, 2015). Desta forma, os diferentes sistemas de cultivo e manejos do fertilizante fosfatado contribuirão, de forma significativa, para o acesso do P pela planta e para a produção das culturas, uma vez que o P é um importante modulador da produção (NUNES *et al.*, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

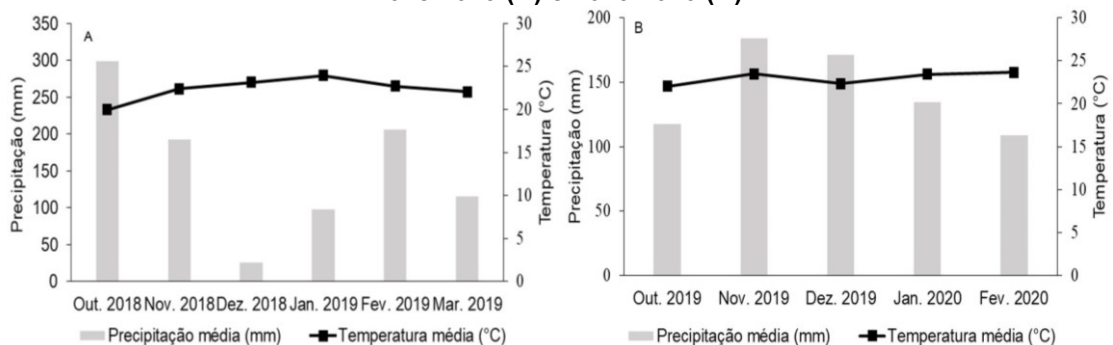
3.1 Caracterização do local do estudo

O experimento foi conduzido na área experimental de Ensino, Pesquisa e Extensão, pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos-PR, localizada nas coordenadas geográficas com latitude 25°41'32" S, longitude 53°05'42" W, em uma altitude de 526 metros. O solo da área é do tipo Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 2018).

O clima da região é classificado segundo Köppen como Cfa: Clima subtropical, temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, apresentando precipitação média de 2.025 mm ano⁻¹, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (ALVARES *et al.*, 2013).

Durante os meses que compreenderam o ciclo da cultura na safra 2018/2019, a precipitação mensal foi próxima de 300 mm em outubro de 2018. Os meses de dezembro e janeiro apresentaram os menores valores de precipitação, sendo inferior a 50 mm no mês de dezembro de 2018. As temperaturas médias variaram entre 20 e 24 °C (Figura 1A).

Figura 1 - Dados meteorológicos observados durante o período experimental nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B)



Fonte: INMET - UTFPR, Dois Vizinhos – PR (2021)

Em relação aos meses que compreendem a safra 2019/2020 a precipitação para o mês de outubro de 2019 foi de 188 mm. Para os meses de novembro e dezembro do presente ano, foram observadas as maiores precipitações, com valores próximos a 184 e 172 mm, respectivamente. Os meses de janeiro e fevereiro de 2020 apresentaram precipitação de 134 e 109 mm para cada um dos meses. As

temperaturas médias variaram entre 22 e 24 °C (Figura 1B).

A área experimental está sendo cultivada no sistema plantio direto há mais quinze anos, com as culturas da soja (*Glycine max.*) e milho (*Zea mays*), no verão, e com aveia preta (*Avena strigosa*) ou azevém (*Lolium multiflorum*), no inverno.

As características químicas do solo estão representadas na Tabela 1, em relação a matéria orgânica (MO, g dm⁻³), fósforo (P, mg dm⁻³), potássio (K, cmol_c dm⁻³), pH (CaCl₂), cálcio (Ca, cmol_c dm⁻³), magnésio (Mg, cmol_c dm⁻³) e saturação de base (V%) em profundidade de 0,0-20,0 cm.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos químicos do solo da área experimental: matéria orgânica (MO, g dm⁻³), fósforo (P, mg dm⁻³), potássio (K, cmol_c dm⁻³), pH (CaCl₂), cálcio (Ca, cmol_c dm⁻³), magnésio (Mg, cmol_c dm⁻³) e saturação de base (V%)

Prof. (cm)	MO	P	K	pH	Ca	Mg	V%
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	CaCl ₂	--cmol _c dm ⁻³ --		%
0-20,0	51,6	18,02	0,77	5,93	8,93	2,24	78,55

Fonte: Autoria própria (2021)

3.2 Condução do experimento

3.2.1 Semeadura da aveia e manejo da palha

A semeadura da cultura da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) foi realizada no início de maio de cada ano (2018 e 2019), na quantidade de 80 kg de sementes por hectare, sem adubação de base. Para a semeadura foi utilizado semeadora-adubadora de arrasto, marca Semeato[®], modelo SHM 11/13, com dosador do tipo mecânico e sulcador de adubo do tipo disco duplo, constituída de 11 linhas de semeadura, com espaçamento entre linhas de 0,20 m. A velocidade de semeadura foi de aproximadamente 5,0 km h⁻¹ e a profundidade de semeadura em torno de 2,0 cm.

Três semanas após a emergência das plantas, foi aplicado em dose única como fonte de ureia em cobertura, na quantidade de 30 kg ha⁻¹ de N. Após o período de enchimento do grão, a aveia foi dessecada no mês de setembro de cada ano (2018 e 2019) com a utilização de um pulverizador, marca Montana[®], com capacidade de 600 L, na dose de 3,0 L ha⁻¹ com Glyphosate[®], a fim de ocasionar a dessecação da cultura de inverno e permitir a implantação da cultura de verão.

3.2.2 Semeadura do milho e tratos culturais

A semeadura da cultura do milho foi realizada para o primeiro ano de

experimento, em 17 de outubro de 2018 e para o segundo ano, em 08 de outubro de 2019, período de acordo com zoneamento agrícola para a região sudoeste do estado do Paraná. Foi utilizada uma semeadora-adubadora de arrasto (Figura 2), marca Semeato®, modelo SHM 11/13, com dosador do tipo mecânico e sulcador de adubo do tipo guilhotina, constituída de 5 linhas de semeadura, com espaçamento entre linhas de 0,45 m. Como fonte de tração foi utilizado um trator John Deere®, modelo 5600, 4x2 TDA, com 75 CV de potência no motor, a 1.400 rpm. A velocidade de semeadura foi de aproximadamente 5,0 km h⁻¹.

O híbrido utilizado foi Pioneer 30F53VHR R3®, com porcentagem de germinação de aproximadamente 85% e pureza de 100% (PIONEER SEMENTES, 2021). A semeadora foi regulada visando o estande de 70.000 sementes ha⁻¹, ou 3,15 sementes por metro linear.

Figura 2 - Conjunto trator e semeadora/adubadora utilizado na semeadura do milho



Fonte: Autoria própria (2021)

Com base nas características químicas do solo e na Tabela de recomendação de adubação para a cultura do milho (MOREIRA; MALAVOLTA; MORAES, 2017), foi determinado a adubação química básica de fósforo (P) nitrogênio (N) e potássio (K), para a estimativa de produtividade de 13 a 16 t ha⁻¹. A quantidade aplicada de cada fonte de fósforo foi calculada considerando o teor de

P₂O₅ total dos fertilizantes, histórico da área experimental para a implantação do experimento e todos foram padronizados para atender a aplicação de 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹. Foram aplicados na operação de semeadura 80 kg ha⁻¹ de SPS (19% P₂O₅), 80 kg ha⁻¹ de Top-Phos[®] (28% P₂O₅) e 80 kg ha⁻¹ de FNR (30% P₂O₅). A aplicação de N (150 kg ha⁻¹) e K (120 kg ha⁻¹) ocorreu em cobertura.

A aplicação de N foi parcelada em três aplicações, distribuídos à lanço em diferentes estádios fenológicos da cultura. A primeira aplicação ocorreu na quantidade de 30 kg ha⁻¹ no estádio V₂, a segunda e a terceira aplicação ocorreram nos estádios V₄ e V₈ na dose de 60 kg ha⁻¹, respectivamente para cada aplicação. Todas as aplicações foram realizadas em condições climáticas adequadas, buscando maior aproveitamento do fertilizante, enquanto o K foi em aplicação única, após a semeadura da cultura do milho, sendo as aplicações realizadas manualmente à lanço.

Os tratos culturais foram realizados conforme a recomendação técnica para a cultura do milho, realizados em toda a área experimental, sendo aplicado os produtos descritos abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação dos produtos utilizados nos tratos culturais da cultura do milho, nos dois anos de experimento

Agrotóxico	Aplicação	Número de Aplicações		Volume (L ha ⁻¹)	Dose (L ha ⁻¹)
		Safra 2018/2019	Safra 2019/2020		
Atrazine	Herbicida	1	1	200	5,00
Engeo Pleno	Inseticida	1	1	200	0,25

Fonte: Aatoria própria (2021)

A pulverização foi realizada com a utilização de um pulverizador, marca Montana[®], com capacidade de 600 L, acoplado ao trator, marca John Deere[®], modelo 5600, com tração 4x2 TDA.

3.2.3 Delineamento experimental

Os tratamentos consistiram na combinação de três fontes de fósforo (superfosfato simples (SPS) 19% P₂O₅, Top-Phos[®] (TOP-PHOS[®]) 28% P₂O₅ e fosfato natural reativo (FNR) 30% P₂O₅) e quatro métodos de aplicação (à lanço em superfície e aplicação no sulco de semeadura, em 5,0, 8,0 e 11,0 cm de profundidade), mais uma testemunha sem fornecimento de P (tratamento adicional) (Tabela 3).

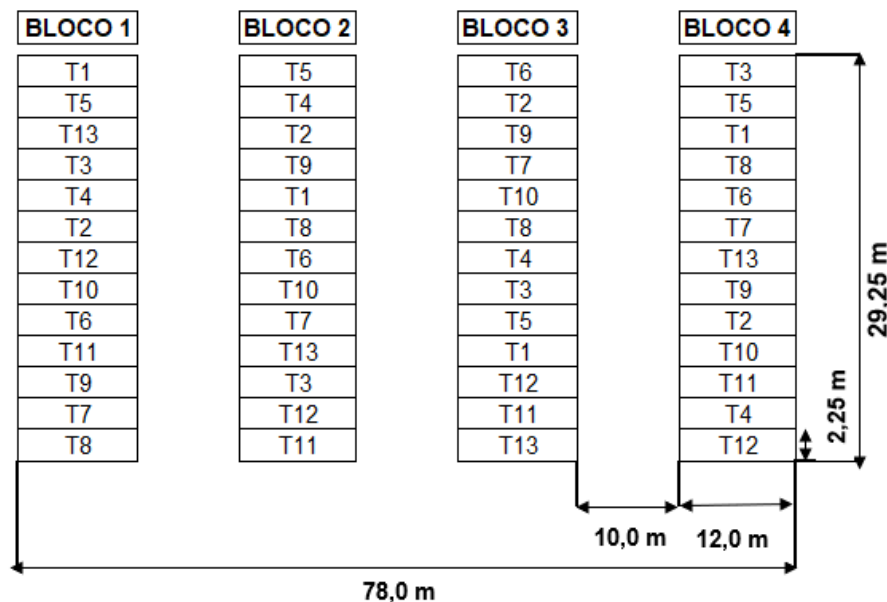
Tabela 3 - Relação e designação dos tratamentos

Tratamentos	Fonte de fósforo	Profundidade de adubação (cm)	Sigla
T1	Fosfato natural reativo	0,0	FNR 0
T2	TOP-PHOS®	0,0	TOP-PHOS® 0
T3	Superfosfato simples	0,0	SPS 0
T4	Fosfato natural reativo	5,0	FNR 5
T5	TOP-PHOS®	5,0	TOP-PHOS® 5
T6	Superfosfato simples	5,0	SPS 5
T7	Fosfato natural reativo	8,0	FNR 8
T8	TOP-PHOS®	8,0	TOP-PHOS® 8
T9	Superfosfato simples	8,0	SPS 8
T10	Fosfato natural reativo	11,0	FNR 11
T11	TOP-PHOS®	11,0	TOP-PHOS® 11
T12	Superfosfato simples	11,0	SPS 11
T13	Testemunha - Sem adição de fósforo	--	Test.

Fonte: Autoria própria (2021)

Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial, composto por 12 tratamentos + testemunha, com quatro repetições, totalizando 52 unidades experimentais (Figura 3).

Figura 3 - Croqui do experimento em esquema fatorial conduzido, em delineamento de blocos ao acaso, em função das fontes de fósforo e métodos de aplicação



Fonte: Autoria própria (2021)

As parcelas consistiam em 12,0 m de comprimento e 2,25 m de largura, totalizando uma área de 30,0 m² cada. As parcelas foram constituídas de cinco fileiras de doze metros de comprimento, sendo o espaçamento entre fileiras de 0,45 m e entre plantas de 0,3 m. A área útil da parcela foi composta das três fileiras

centrais, eliminando 3,0 m em cada uma das extremidades, tendo área útil de 8,1 m². O espaçamento utilizado entre blocos foi de 10,0 metros, utilizados para manobra e estabilização do conjunto motomecanizado.

Para avaliar os parâmetros referentes às características de plantabilidade na cultura do milho (profundidade de deposição de sementes, área de solo mobilizada e largura máxima de sulco), foi adotado o delineamento em blocos ao acaso, com três tratamentos, compostos pelas profundidades de adubação (5,0, 8,0 e 11,0 cm), com 8 repetições cada.

3.3 Variáveis resposta

A profundidade de deposição das sementes foi determinada nas três linhas centrais de semeadura em cada unidade experimental, medindo o comprimento do epicótilo às sementes de trinta plantas por unidade experimental. Com uma tesoura de poda foi cortada à parte aérea da planta rente ao solo e, com uma espátula, retirou-se a parte enterrada.

Com o auxílio de uma régua, foi medido o comprimento do epicótilo cortado rente à superfície do solo até a semente, correspondendo a profundidade de deposição da semente. Esta determinação foi realizada quando as plântulas de milho apresentavam aproximadamente 5,0 cm de altura.

Foi utilizado um perfilômetro (Figura 4), construído em madeira, com régua verticais graduadas em centímetros, dispostas a cada 1,0 cm no sentido transversal a linha de semeadura, sendo realizado nas três linhas centrais de semeadura o levantamento de três perfis: perfil da superfície natural do solo, perfil da superfície final do solo, e perfil interno do solo mobilizado. O cálculo da área mobilizada foi obtido por meio da Equação (1):

$$Am = \sum (P_N - P_F) * e \quad (1)$$

Em que:

Am : área mobilizada (cm²);

P_N : perfil da superfície natural do solo para cada ponto do perfilômetro (cm);

P_F : perfil da superfície final do solo para cada ponto do perfilômetro (cm);

e = espaçamento entre as régua verticais (cm).

Figura 4 - Perfilômetro utilizado para avaliação da área de solo mobilizada e largura máxima de sulco



Fonte: Autoria própria (2021)

A largura superficial de mobilização do solo no sulco de semeadura foi obtida pela determinação da distância entre as extremidades de mobilização superficial do solo.

O estande inicial e final de plantas foi realizado por meio da mensuração da contagem das plantas existentes em seis metros lineares de cada linha de semeadura, nas três linhas centrais de cada unidade experimental, sendo posteriormente extrapolado este resultado para o número de plantas por hectare. A avaliação do estande inicial foi realizada após a estabilização da emergência da cultura, enquanto o estande final de plantas foi mensurado na maturação fisiológica.

As determinações de altura inicial (estágio V₆) e final de plantas (maturação fisiológica) foram realizadas em 10 plantas na área útil de cada unidade experimental, nas três linhas centrais de semeadura, por meio de fita métrica graduada em cm. Para a altura inicial de plantas foi considerado a distância da base da planta até a curvatura da última folha estendida, enquanto para a altura final foi considerado a distância desde as raízes adventícias até a inserção do pendão floral.

O diâmetro inicial de colmo (estágio V₆) e o diâmetro final de colmo (maturação fisiológica) foram determinados em 10 plantas presentes na área útil de

cada unidade experimental. Essa avaliação foi realizada acima das raízes adventícias, no primeiro internódio com auxílio de um paquímetro manual.

A altura de inserção de espigas foi obtida a partir da distância das raízes adventícias até a base da espiga principal. As avaliações foram realizadas em 10 plantas, na área útil de cada unidade experimental, com auxílio fita métrica graduada em centímetros.

Os componentes de rendimento da cultura do milho foram realizados em 10 espigas coletadas aleatoriamente em cada unidade experimental, das quais foram avaliados o número de fileiras de grãos por espiga e o número de grãos por fileira.

Após a debulha manual das espigas utilizadas para avaliar os componentes de rendimento, foi determinada a massa de mil grãos por meio da média de oito subamostras, contendo 100 grãos cada tomada ao acaso de cada parcela, as quais foram submetidas à pesagem e correção da umidade para 13%.

A produtividade foi obtida pela colheita de todas as espigas contidas na área útil de cada unidade experimental. A umidade corrigida para 13% e, posteriormente esses dados foram extrapolados para a área referente a um hectare.

Após a segunda safra (2019/2020), em cada parcela, no centro da terceira linha de semeadura, foi coletada uma amostra de solo na profundidade de 0,0-15,0 cm, composta com aproximadamente 500 g de solo, totalizando 52 amostras, que a partir desta amostra, foram estratificadas três subamostras nas profundidades 0,0-5,0 cm, 5,0-10,0 cm e 10,0-15,0 cm. As amostras coletadas foram mantidas em sacos plásticos etiquetadas e enviadas para o Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ-USP para caracterização química das análises pelo método de extração P-resina e P-total do solo (RAIJ *et al.*, 1994).

3.4 Análise estatística

Os resultados relacionados aos parâmetros de plantabilidade e componentes de rendimento do milho foram submetidos a análises de variância pelo teste F, a significância de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico GENES® (CRUZ, 2013). As médias de efeito qualitativo (fontes de P) foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, enquanto as de efeito quantitativo (profundidades de adubação fosfatada) realizando análises de regressão polinomial, sendo os modelos selecionados, pelo critério de maior R^2 e a significância ($p \leq 0,05$) dos parâmetros da equação.

A normalidade e homogeneidade das variáveis respostas foram analisadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Oneillmathews, respectivamente. Os dados de profundidade de semeadura foram transformados com a equação $1/(x+k)$, visando atender os pressupostos de normalidade e homogeneidade, para as análises de variância.

Para fracionamento de P-resina e P-total, os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Lilliefors. Após, foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e ao teste de comparação de médias de Tukey (α 0,05), utilizando-se o software GENES® (CRUZ, 2013). As variáveis P-resina 0,0-5,0 cm e P-resina 5,0-10,0 cm foram transformados por \log de $x+1$, enquanto a variável P-resina 10,0-15,0 cm foi transformada por Box-Cox.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Fracionamento de fósforo no solo

De modo geral, se observa que independente das fontes de adubação fosfatada e das profundidades de aplicação, tanto os teores de P no solo, determinados tanto pelo método P-resina quanto P-total não apresentaram diferenças significativas para as profundidades amostradas de 0,0-5,0 cm, 5,0-10,0 cm e 10,0-15,0 cm (Tabela 4). Também não se observou interação significativas entre os fatores.

Tabela 4 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio pelo método extração P-resina e P-total em função das profundidades e fontes de adubação

FV	GL	Teores de P-resina		
		Prof. 0,0-5,0 cm	Prof. 5,0-10,0 cm	Prof. 10,0-15,0 cm
Blocos	3	0,10	0,18	0,03
Fontes (F)	2	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Prof (P)	3	0,17 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,03 ^{ns}
F x P	6	0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Resíduo	33	0,06	0,10	0,05
CV (%)		19,40	27,64	28,87
		Teores de P-total		
Blocos	3	3320,02	21644,04	10525,98
Fontes (F)	2	27766,90 ^{ns}	42527,84 ^{ns}	4606,00 ^{ns}
Prof (P)	3	39659,46 ^{ns}	114563,09 ^{ns}	11830,63 ^{ns}
F x P	6	22248,05 ^{ns}	21568,76 ^{ns}	5355,71 ^{ns}
Resíduo	33	29227,89	41921,65	8742,58
CV (%)		11,81	15,31	8,45

^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com Santos *et al.* (2008) adições periódicas de fosfatos, através do SPD proporciona alterações na distribuição das frações e das concentrações de P no perfil do solo. Este comportamento permite supor que houve contribuição relevante das adubações fosfatadas realizadas na área em anos anteriores atrelado ao sistema de manejo. Para Gatiboni *et al.* (2007) estes resultados relacionam-se a disponibilidade de P e suas formas acumuladas no solo, que a longo prazo, através da adição de adubos fosfatados proporcionam suprimento de P.

Segundo Calegari *et al.* (2013) e Leite *et al.* (2016), os resultados observados em relação a não diferença significativa entre as fontes de adubação fosfatada e a profundidades de adubação na área avaliada, estão relacionadas ao

alto teor de P no solo e a fertilidade química do solo, tendo em vista o fato da área ter recebido adubações em safras passadas.

Considerando os teores de P nas mesmas profundidades, foi observado que as fontes de P (FNR, TOP-PHOS® e SPS) não promoveram alterações significativas nos teores de P-resina e nem de P-total, mesmo sendo estas fontes diferentes em termos de solubilidade. Estes resultados sugerem que, em função das sucessivas adubações fosfatadas, safra após safra, os sítios de ligação de P do solo foram sendo, gradativamente, saturados, reduzindo as perdas deste elemento por adsorção nos colóides do solo (Tabela 4).

Avaliando em termos de estratificação e considerando valores observados no presente estudo, para os teores de P-resina e P-total eles não apresentaram diferenças significativas em comparação a camada superficial do solo, para camadas mais profundas (Tabela 5). No entanto, isso justifica-se pelo fato de constantes adubações fosfatadas ao longo dos anos na área experimental, aliado ao SPD, o qual proporcionou maior capacidade de redistribuição do P aplicado ao solo.

Tabela 5 - Teores médios de P-resina e P-total (mg kg⁻¹) em função das fontes de adubação fosfatada e profundidades de adubação

Fontes de P	Teores de P-resina (mg kg ⁻¹)		
	Prof. 0,0-5,0 cm	Prof. 5,0-10,0 cm	Prof. 10,0-15,0 cm
FNR	22,35 ^{ns}	17,37 ^{ns}	2,63 ^{ns}
TOP-PHOS®	23,20	16,07	3,60
SPS	23,73	16,54	3,84
Prof. Adubação			
0,0 cm	22,35 ^{ns}	9,54 ^{ns}	3,35 ^{ns}
5,0 cm	24,04	17,11	3,82
8,0 cm	24,38	18,56	3,16
11,0 cm	21,85	19,70	3,26
Fontes de P	Teores de P-total (mg kg ⁻¹)		
	Prof. 0,0-5,0 cm	Prof. 5,0-10,0 cm	Prof. 10,0-15,0 cm
FNR	1436,64 ^{ns}	1299,56 ^{ns}	1069,67 ^{ns}
TOP-PHOS®	1394,52	1259,36	1084,47
SPS	1491,27	1290,30	1100,31
Prof. Adubação			
0,0 cm	1453,10 ^{ns}	1178,63 ^{ns}	1070,03 ^{ns}
5,0 cm	1468,30	1254,89	1130,74
8,0 cm	1500,28	1300,47	1086,71
11,0 cm	1349,39	1422,83	1094,03

^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria Própria (2021)

A variabilidade do teor de P-total encontrado nos solos classificados como Latossolos, pode situar-se entre 52 e 1625 mg kg⁻¹ chegando até valores superiores.

A aplicação da adubação fosfatada através de técnicas adotadas no SPD, proporciona maiores níveis de adubação na camada superficial do solo, não corrigindo a deficiência desse nutriente nas camadas inferiores do solo, onde há predomínio do desenvolvimento radicular (SILVEIRA, 2000).

4.2 Fracionamento de fósforo no solo com tratamento adicional

Em relação aos tratamentos com as fontes de adubação fosfatada em comparação a testemunha se observa que não houve diferença significativa em relação as profundidades de amostragem de solo para P-resina e P-total (Tabela 6).

Tabela 6 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio pelo método extração P-resina e P-total em função das profundidades e fontes de adubação em comparação a testemunha

FV	GL	Teores de P-resina		
		Prof. 0,0-5,0 cm	Prof. 5,0-10,0 cm	Prof. 10,0-15,0 cm
Blocos	3	0,063	0,017	0,033
Trat. + Test.	12	0,069 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,048 ^{ns}
Trat.	11	0,074 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,052 ^{ns}
Trat. x Test.	1	0,014 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Resíduo	36	0,068	0,105	0,054
CV (%)		19,70	27,09	28,37
FV		Teores de P-total		
Blocos	3	6379,89	25281,2	11196,59
Trat. + Test.	12	26925,61 ^{ns}	48916,25 ^{ns}	6497,74 ^{ns}
Trat.	11	28000,04 ^{ns}	50741,59 ^{ns}	6985,29 ^{ns}
Trat. x Test.	1	15106,86 ^{ns}	28837,44 ^{ns}	1134,73 ^{ns}
Resíduo	36	29247,83	38656,28	8057,09
CV (%)		11,85	14,78	8,12

^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria Própria (2021)

De acordo com Gatiboni *et al.* (2008) as adições constantes e em altas doses de P no solo proporcionam redução na disponibilidade de sítios mais ávidos pelo íon fosfato, ocasionando menor energia de ligação, havendo desta forma acúmulo de P nas frações lábeis e moderadamente lábeis do solo (GUARDINI *et al.*, 2012).

Na Tabela 7, nota-se que os teores de P-resina e P-total comparados ao tratamento testemunha, não apresentaram diferenças significativas entre as fontes e as profundidades de adubação.

Tabela 7 - Teores médios de P-resina e P-total (mg kg⁻¹) determinados de forma estratificada em função das profundidades e fontes de adubação fosfatada comparadas a testemunha

Profundidades	Teores de P-resina (mg kg ⁻¹)		
	Prof. 0,0-5,0 cm	Prof. 5,0-10,0 cm	Prof. 10,0-15,0 cm
T1 (FNR 0)	19,85 ^{ns}	12,47 ^{ns}	3,15 ^{ns}
T2 (TOP-PHOS® 0)	25,17	9,38	3,06
T3 (SPS 0)	30,41	12,57	5,06
T4 (FNR 5)	26,69	22,43	26,53
T5 (TOP-PHOS® 5)	25,99	19,05	8,33
T6 (SPS 5)	23,74	23,59	6,60
T7 (FNR 8)	20,14	20,14	3,39
T8 (TOP-PHOS® 8)	31,62	32,01	5,30
T9 (SPS 8)	46,67	21,90	4,24
T10 (FNR 11)	16,20	22,01	2,66
T11 (TOP-PHOS® 11)	17,94	22,11	14,38
T12 (SPS 11)	12,96	26,31	4,27
Testemunha	21,54	10,16	3,47
	Teores de P-total (mg kg ⁻¹)		
T1 (FNR 0)	1400,51 ^{ns}	1205,14 ^{ns}	1043,61 ^{ns}
T2 (TOP-PHOS® 0)	1368,34	1190,91	1060,07
T3 (SPS 0)	1582,55	1241,73	1093,32
T4 (FNR 5)	1410,91	1461,84	1183,90
T5 (TOP-PHOS® 5)	1485,29	1227,14	1102,81
T6 (SPS 5)	1477,31	1404,85	1135,38
T7 (FNR 8)	1573,35	1301,61	1067,67
T8 (TOP-PHOS® 8)	1409,53	1343,78	1117,58
T9 (SPS 8)	1547,86	1322,24	1114,51
T10 (FNR 11)	1403,89	1562,54	1064,01
T11 (TOP-PHOS® 11)	1360,10	1362,41	1131,85
T12 (SPS 11)	1348,80	1417,32	1150,72
Testemunha	1383,41	1248,42	1087,92

^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria Própria (2021)

Os resultados observados em relação as fontes de adubação fosfatada em diferentes profundidades devem-se ao fato de o solo apresentar teores considerados satisfatórios de P. Schlindwein e Gianello (2008), afirmam que o teor de P presente no solo, apresenta maiores nos primeiros centímetros, principalmente em áreas que adotam o SPD. Para os autores, adições constantes de adubação fosfatada e o manejo da matéria orgânica do solo em virtude do sistema de plantio direto, proporcionam aumento nos teores de P nas frações do solo.

Desta forma, solos que apresentam maior teor de palhada, pode-se ter maior liberação ácidos orgânicos oriundos da decomposição da MO o qual inibem os sítios de adsorção por recobrimento dos óxidos de Fe e Al (TOKURA *et al.*, 2002).

Carneiro *et al.* (2011), avaliando a capacidade de adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram que maior teor de matéria orgânica contribui para a redução da retenção de P. De acordo com Afif; Barron e Torrent (1995), a matéria orgânica promove maior aproveitamento do P oriundo da adubação fosfatada, devido ao recobrimento da superfície dos óxidos de Al e Fe, por moléculas de ácidos húmicos resultando na redução dos sítios de fixação.

Os resultados observados na área experimental estão relacionados a aplicação de P ao solo através das fontes de adubação fosfatada, o qual aumenta significativamente o P inorgânico na solução considerado moderadamente lábil. A adição periódica de fontes de fosfatos em SPD, causa aumento nas concentrações de P no perfil do solo, pois o revolvimento mínimo do solo, promove a redução no contato dos colóides do solo, reduzindo a exposição dos sítios de adsorção de P (SANTOS *et al.*, 2008).

Os teores de P determinados pelo método resina se relacionam com os teores de P nas frações lábeis e moderadamente lábeis dos solos. Os resultados obtidos indicam que essas frações de P extraídas pelo método da resina representam os teores absorvidos pelas plantas (CASALI, 2012). A extração de P através do método resina, retira apenas o P nas formas solúveis e lábeis no solo, não ocorrendo a superestimação da quantidade de P disponível para as plantas (RAIJ, 1978).

A fração orgânica pode representar até 80% do P-total presente no solo, podendo contribuir através do processo de mineralização o fornecimento de P para as plantas, entretanto o P inorgânico se torna o principal responsável pela nutrição das plantas. O P orgânico apresenta diferentes graus estabilidade, refletindo na sua disponibilidade para as plantas (NUNES *et al.*, 2011).

Ao avaliar os teores de P-total no SPD em solos do cerrado mineiro, Costa (2019) observou que na camada mais superficial entre 0,0-5,0 cm houve maiores teores de P-total, quando comparado a profundidade de 5,0-10,0 cm. Para o autor o acúmulo de fósforo nas camadas superficiais do solo em SPD ocorre devido a aplicação de fertilizantes fosfatados na linha de semeadura ou a lanço, atrelado a baixa mobilidade deste elemento no solo. Para o autor, em solos brasileiros a concentração de P orgânico total chega a representar até 272 mg kg⁻¹.

Tokura *et al.* (2002), descrevem que com o decorrer do tempo o SDP proporciona aumento nos valores de P-total, pois ocorre o retorno dos nutrientes ao

solo, favorecendo a atividade dos microrganismos e a mineralização do P orgânico no solo. Dessa forma, adoção do SPD em solos de textura argilosa, contribui para melhores condições de disponibilidade do P, principalmente na forma Pi.

De acordo com estudos realizados por Leite *et al.* (2016) esses resultados de P-total se devem ao fato deste elemento se encontrar ligado aos coloides do solo, principalmente em Latossolo Vermelho distroférico cultivado em SPD (GATIBONI *et al.*, 2007).

É possível observar que os teores de P-total não apresentaram diferenças entre as fontes de adubação fosfatada e profundidades de adubação quando comparadas ao tratamento testemunha, demonstrando que o histórico da área proporciona acúmulo de P inorgânico, sendo responsável pelo tamponamento de P na solução do solo (TIECHER; SANTOS; KAMINSKI, 2012).

Os resultados observados podem estar associados com a aplicação de fertilizante em sulco de semeadura, sem revolvimento do solo, atrelado a presença de ácidos orgânicos oriundos da decomposição das plantas de cobertura presente na área no período de entressafra, provocando a inibição da adsorção de P pelo solo (CORREA *et al.*, 2004). A manutenção dos teores de P no solo devido aos anos de cultivo na área, promoveu adsorção específica de P, atingido saturação do solo, fato este observado pelas não diferenças significativas entre os tratamentos e testemunha.

De acordo com Cunha, Casarin e Prochnow (2011) a quantidade de P aplicada por meio de fontes de adubação fosfatada é maior que a extração pelas culturas, ocorrendo acúmulo no solo. Segundo os autores a cada 100 kg de P aplicados ao solo somente 55 kg são exportados na forma dos produtos colhidos. O acúmulo no solo pode ocorrer nas formas orgânicas, inorgânicas dependendo de uma combinação de fatores relacionados ao manejo e à dinâmica do P no solo, que afetam sua capacidade de adsorção e dessorção, aliados ao sistema de preparo, teor de matéria orgânica e mineralogia do solo (FINK *et al.*, 2016, BARROW, 2015; MUNIRA; FARENHORST; AKINREMI, 2018). Para os autores, solos manejados sob longo período em SPD, a fração orgânica de P no solo, se torna o principal reservatório de reabastecimento do íon fosfato para a solução do solo.

Para Carneiro *et al.* (2011) solos que apresentam reserva de P, permitem a igualdade de resposta, mesmo com diferentes métodos de manejo da adubação fosfatada. A aplicação de fontes de adubação fosfatada no sulco de semeadura

promove a diminuição do contato entre o Pi do fertilizante e o solo, sendo que a presença dos ácidos orgânicos leva ao bloqueio dos sítios de adsorção através do recobrimento dos óxidos de Fe e Al pelos ácidos (REDEL *et al.*, 2007; ZAMUNER; PICONE; ECHEVERRIA, 2008).

De acordo com Anghinoni e Bissani (2008) a mobilidade de Pi na solução do solo é extremamente lenta, e o processo de mineralização dos resíduos orgânicos no solo ocorre gradativamente, proporcionando liberação e redistribuição das formas orgânicas de P, sendo mais móveis no perfil do solo e menos susceptíveis à adsorção que as formas inorgânicas, podendo explicar os efeitos observados na área em estudo nas diferentes profundidades avaliadas (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

4.3 Parâmetros de plantabilidade

Em relação aos parâmetros de plantabilidade, a profundidade de semeadura e área de solo mobilizada nas safras 2018/2019 e 2019/2020 apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) (Tabela 8).

Tabela 8 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres profundidade de semeadura (PS), área de solo mobilizada (ASM) e largura superficial de sulco (LSS), em função de profundidades de adubação

FV	GL	Safrá 2018/2019		
		PS	ASM	LSS
Blocos	3	0,0281	18,7874	0,4380
Profundidades	2	0,7366*	149,4143*	0,1310 ^{ns}
Resíduo	6	0,0400	27,7578	0,0892
CV (%)		4,08	11,47	4,10
Safrá 2019/2020				
Blocos	3	0,0139	16,1448	0,1833
Profundidades	2	0,3493*	209,2316*	0,1769 ^{ns}
Resíduo	6	0,0378	18,3177	0,9407
CV (%)		3,54	9,83	11,84

^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria Própria (2021)

Em relação ao parâmetro largura superficial de sulco, não houve diferenças significativas para as safras 2018/2019 e 2019/2020 (Tabela 8).

De acordo com Warrick e Nielsen (1980), as variáveis podem ser classificadas, como de baixa variação para $CV < 12\%$; de média variação entre $12\% \leq CV \leq 52\%$; e de alta variação para $CV > 52\%$. Para Gomes e Garcia (2002), experimentos de campo agrônômicos, $CV < 10\%$ são considerados baixos.

Na safra 2018/2019 as variáveis profundidade de semeadura, área de solo

mobilizada e largura superficial de sulco, podem ser classificadas como baixo, pois apresentaram coeficientes de variação de 4,08%, 11,47% e 4,10%, respectivamente. Já na safra 2019/2020 os coeficientes foram de 3,54%, 9,83% e 11,84%, respectivamente.

Segundo Vale *et al.* (2009) o alto coeficiente de variação significa que maiores números de amostras devem ser analisados para que os parâmetros sejam avaliados com o mesmo grau de sensibilidade. O coeficiente de variação é um indicativo da variabilidade relativa das propriedades e, no presente estudo as variáveis profundidade de semeadura, área de solo mobilizada e largura superficial de sulco, podem ser comparadas com menor número de amostras.

Silva (2013) avaliando os parâmetros de plantabilidade na cultura do milho com mecanismo sulcador tipo haste, em Latossolo Vermelho nas profundidades de sulco de 7,0; 11,0 e 13,0 cm verificaram CV (%) para área de solo mobilizada 30,93 e largura superficial de sulco 8,2.

4.3.1 Profundidade de semeadura

As maiores profundidades de semeadura ocorrem onde houve depósito de adubo em maiores profundidades (Tabela 9).

Tabela 9 - Profundidade de semeadura de milho (PS) nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em função da profundidade de aplicação da adubação fosfatada

Profundidades de adubação (cm)	Profundidade de Semeadura (cm)	
	Safra 2018/2019	Safra 2019/2020
5,0	4,60 b	5,16 b
8,0	4,72 b	5,70 a
11,0	5,39 a	5,64 a

*Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Teste F, $p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2021)

Na safra 2018/2019 houve diferenças significativas, apenas quando se depositou o adubo a 11,0 cm, a qual obteve maior profundidade de semeadura de 5,39 cm. Na safra 2019/2020, as profundidades de adubação de 8,0 e 11,0 cm, não apresentaram diferenças significativas em relação a profundidade de semeadura apresentando valores de 5,70 e 5,64 cm, respectivamente (Tabela 9).

A profundidade de semeadura adequada ao desenvolvimento da cultura do milho é próxima aos 5,0 cm (MOTA; PORTUGAL FILHO, 2016). Os valores são considerados satisfatórios quando a profundidade se situa entre 3,0 e 5,0 cm

favorecendo o processo de germinação da semente estimulando a expansão do mesocótilo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; MANTOVANI, CRUZ; OLIVEIRA, 2015).

A semeadura realizada em maior profundidade pode ocasionar prejuízos à emergência das plântulas, decorrente do maior gasto de energia da plântula, além de prejuízos causados por baixas temperaturas e baixos níveis de oxigênio (KOAKOSKI *et al.*, 2007; WEIRICH NETO *et al.*, 2007; BOTTEGAL *et al.*, 2014; MANTOVANI, CRUZ; OLIVEIRA, 2015).

Para Cai *et al.* (2014), em solos mais argilosos, para que ocorra emergência de plântulas, melhor absorção de nutrientes e água, as sementes devem ser semeadas entre 3,0 e 5,0 cm de profundidade (GOMES, 2016), enquanto para solos arenosos, as sementes podem ser semeadas em profundidade, entre 5,0 e 7,0 cm, devido ao maior teor de umidade do solo.

Silva *et al.* (2015) analisando a emergência de plantas de milho em diferentes profundidades, avaliadas entre 2,0 e 8,0 cm de semeadura em Nitossolo de textura argilosa, verificaram maior velocidade de emergência de plantas nas profundidades de semeadura para 6,0 a 8,0 cm. Para os autores estas respostas estão relacionadas ao maior teor de água presente no solo. O conteúdo de água no solo influencia na aeração e na disponibilidade de oxigênio, fatores de fundamental importância para o processo germinativo da população desejada de plântulas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

De acordo com Passos *et al.* (2019) a profundidade de semeadura está condicionada aos fatores temperatura do solo, umidade e tipo de solo. Assim, as sementes devem ser colocadas numa profundidade que possibilite um bom contato com a umidade do solo. A maior ou menor profundidade de semeadura vai depender também do tipo de solo (CRUZ *et al.*, 2010).

4.3.2 Largura superficial do sulco

Para a largura superficial de sulco, em ambas as safras avaliadas não houve diferenças significativas em relação as diferentes profundidades de adubação (Tabela 10).

Os resultados observados no experimento estão relacionados ao modelo de sulcador do tipo disco duplo utilizado na semeadura, esse tipo de disco abre o solo por compressão em forma de “V”. Os mecanismos sulcadores tipo disco apresentam

a tendência de depositarem as sementes em menores profundidades e conseqüentemente, proporcionam menor largura de sulco (RINALDI *et al.*, 2021).

Tabela 10 - Largura superficial de sulco (LSS) na semeadura da cultura do milho nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em função da profundidade de aplicação da adubação fosfatada

Profundidades de adubação (cm)	Largura superficial de sulco (cm)	
	Safra 2018/2019	Safra 2019/2020
5,0	7,09 a	8,00 a
8,0	7,38 a	8,17 a
11,0	7,42 a	8,42 a

*Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Teste F, $p < 0,05$).

Fonte: Autorial Própria (2021)

O disco de corte, ao penetrar na superfície do solo promove o corte da palha, rompendo a camada superficial do solo e condicionando a ruptura que é promovida pelo sulcador, conseqüentemente diminui a ruptura das estruturas do solo durante a semeadura diminuindo desta forma a largura de sulco (BRANDELERO; ARAUJO; RALISCH, 2014).

Sulcos menores tem como conseqüência menor incidência de plantas daninhas, diminuição da erosão superficial do solo, contribuindo na adequada deposição de sementes e fertilizantes (VOLK; COGO; STRECK, 2004; REIS *et al.*, 2008; GROTTA *et al.*, 2009; THEISEN; BIANCHI, 2010). Outros fatores a serem considerados são os níveis de cobertura vegetal no solo e a velocidade de operação durante a semeadura, pois elas afetam diretamente o a atuação dos mecanismos sulcadores, proporcionado menor contato e revolvimento do solo, entretanto, o disco de corte duplo, necessita de maior carga vertical para realizar o corte da palhada (TROGELLO *et al.*, 2013).

4.3.3 Área de solo mobilizada

Em relação ao parâmetro área de solo mobilizada se observa maiores valores para a profundidade de adubação de 11,0 cm para ambas as safras avaliadas (2018/2019 e 2019/2020), apresentando valores de 51,89 cm² e 50,32 cm², respectivamente (Tabela 11).

Na profundidade de 8,0 cm de adubação não houve diferença significativa em relação a profundidade de adubação de 11,0 cm para as duas safras avaliadas, apresentando valores de 46,18 cm² e 44,37 cm² (Tabela 11).

Tabela 11 - Área de solo mobilizada (ASM) na semeadura da cultura do milho nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em função da profundidade de aplicação da adubação fosfatada

Profundidades de adubação (cm)	Área de solo mobilizada (cm ²)	
	Safra 2018/2019	Safra 2019/2020
5,0	39,68 b	35,92 b
8,0	46,18 ab	44,37 ab
11,0	51,89 a	50,32 a

*Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Teste F, $p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2021)

O aumento da área de solo mobilizada a 11,0 cm de profundidade pode ser explicado pela maior profundidade de adubação, ocasionando maior penetração dos discos de corte no solo, mobilizando assim maior área (CEPIK *et al.*, 2010).

Menores valores em relação a este parâmetro foram observados para a profundidade de 5,0 cm, com valores de área de solos mobilizada de 39,67 cm² para a safra 2018/2019 e 35,57 cm² para a safra 2019/2020, os quais não diferiram da profundidade de 8,0 cm (Tabela 11).

A semeadura com disco duplo, proporciona, menor área de solo mobilizada, contribuindo na diminuição da incidência de plantas invasoras, além de realizar melhor desempenho em terrenos com maior nível de palhada no solo, pois o disco duplo proporciona menores alterações da cobertura morta sobre o solo, e conseqüentemente menores perdas de água do solo por evaporação (SIQUEIRA, 2008; TROGELLO *et al.*, 2013).

O aumento da área de solo mobilizada está relacionado às características e as propriedades dos solos, sendo que solos argilosos ao serem manejados, tendem a mobilizar maior volume de solo quando comparado a solos arenosos. Para Levien *et al.* (2011), solos com maiores os teores de argila e água, apresentam maior a aderência aos mecanismos sulcadores, independentemente do modelo, haverá maior mobilização de solo.

Em geral, a aplicação da adubação em maiores profundidades, proporcionam maior crescimento do sistema radicular, por meio do revolvimento do solo, que facilita a absorção de água e de nutrientes, criando condições adequadas para o desenvolvimento inicial da cultura e aprofundamento do sistema radicular (COSTA *et al.*, 2009).

4.4 Desenvolvimento da cultura do milho

Na safra 2018/2019, as fontes de fósforo foram significativas apenas para as

alturas final de plantas e de inserção de espigas, enquanto as profundidades de adubação influenciaram significativamente o diâmetro final de colmo e a altura inserção de espigas. Houve interação significativa para a altura inicial e final de plantas e diâmetro inicial de colmo (Tabela 12).

Tabela 12 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) das variáveis estande inicial de plantas (EIP), altura inicial de plantas (AIP), diâmetro inicial de colmo (DIC), estande final de plantas (EFP), altura final de plantas (AFP), diâmetro final de colmo (DFC) e altura de inserção de espiga (AIE) em relação a diferentes fontes de adubação fosfatada e profundidades de adubação

FV	GL	Safrá 2018/2019						
		EIP	AIP	DIC	EFP	AFP	DFC	AIE
Blocos	3	4657160,9	0,00001	0,11	878507,5	0,00012	0,075	0,00003
Fontes (F)	2	15273305,3 ^{ns}	0,00030 ^{ns}	4,91 ^{ns}	6382409,9 ^{ns}	0,01506*	0,005 ^{ns}	0,00305*
Prof (P)	3	4149096,2 ^{ns}	0,00130 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1809937,2 ^{ns}	0,00041 ^{ns}	0,852*	0,00082*
F x P	6	5450988,9 ^{ns}	0,00046*	2,06*	2317989,7 ^{ns}	0,00023*	0,186 ^{ns}	0,00020 ^{ns}
Resíduo	33	5580881,9	0,00002	0,20	4527248,4	0,00009	0,249	0,00008
CV(%)		3,27	1,15	2,33	2,97	0,35	2,31	0,75
		Safrá 2019/2020						
Blocos	3	12277911,81901	0,00065	0,63	4953512,1	0,00017	0,259	0,00024
Fontes (F)	2	12669551,63 ^{ns}	0,00311*	0,55 ^{ns}	4794745,7 ^{ns}	0,00049 ^{ns}	1,316*	0,00039 ^{ns}
Prof (P)	3	6520025,63 ^{ns}	0,0075*	1,09*	1227793,6 ^{ns}	0,00207*	4,542*	0,00072*
F x P	6	5091110,76 ^{ns}	0,00248*	2,59*	2720197,9 ^{ns}	0,00014 ^{ns}	0,603 ^{ns}	0,00037*
Resíduo	33	5280665,73	0,00037	0,29	2066850,0	0,00015	0,352	0,00015
CV(%)		3,15	4,55	2,71	2,00	0,44	2,67	0,88

^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria Própria (2021)

Na safra 2019/2020, a altura inicial de plantas e diâmetro final de colmo foram influenciadas significativamente pelas fontes de adubação fosfatada. A profundidade de adubação foi significativa para as variáveis altura inicial e final de plantas, diâmetro inicial e final de colmo e altura de inserção de espiga. Houve interação entre os fatores profundidade e fonte para as variáveis para altura inicial de plantas, diâmetro inicial de colmo e altura de inserção de espiga (Tabela 12).

4.4.1 Estande inicial e final de plantas

Os estandes inicial e final de plantas não apresentam diferenças significativas entre as fontes de fósforo e a profundidade de adubação nas duas safras.

De acordo com Cruz *et al.* (2010) o estande de plantas é definido pelo número de plantas por unidade de área, tendo importante relação na produtividade de uma lavoura, pois pequenas variações na densidade estão relacionadas ao

rendimento final da cultura, fator este relacionado a cultivar, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica e época de semeadura.

O estande inicial apresentou média de aproximadamente 72.325 plantas ha⁻¹ para a safra 2018/2019, enquanto para a safra 2019/2020 foi de 72.839 plantas ha⁻¹. Já, o estande final de plantas, o valor médio foi de 71.605 plantas ha⁻¹ para a safra 2018/2019 e 72.222 plantas ha⁻¹ para 2019/2020, valores estes considerados satisfatórios, uma vez que a população média desejada de acordo com a cultura estabelecida era de 70.000 plantas ha⁻¹.

A recomendação em relação a densidade de plantas para a cultura do milho é de aproximadamente 70.000 plantas ha⁻¹. Essa recomendação pode variar de acordo com a altura de plantas, a arquitetura foliar, a altura de inserção de espiga e o potencial produtivo específico para cada variedade. A população adequada e uniformidade de distribuição das plantas de milho é de extrema importância quando se objetiva alcançar alta produtividade (STORCK *et al.*, 2015).

Os resultados obtidos estão relacionados as ótimas condições climáticas no início de desenvolvimento da cultura do milho, não ocorrendo déficit hídrico (Figura 1). Desta forma, as plantas puderam aproveitar ao máximo os recursos disponíveis no solo. Para o estande adequado de plantas, se deve observar a densidade populacional, o espaçamento entre linhas e a distribuição de plantas na linha (KOPPER *et al.*, 2017; FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019).

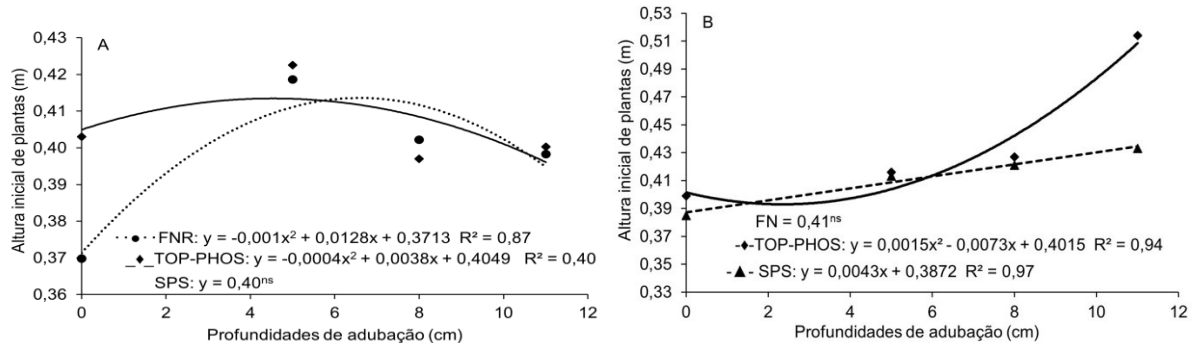
A maior densidade populacional na cultura do milho, resulta no menor diâmetro do colmo, pois ocorre rápido crescimento das plantas e menor interceptação luminosa. Como consequência, há defasagem entre o florescimento e espigamento, ocasionando menor polinização e conseqüentemente menor número de grãos por espiga e rendimento menor de grãos (KAPPES *et al.*, 2011; PASSOS *et al.*, 2019).

4.4.2 Altura inicial e final de plantas

Em relação à altura inicial de plantas, para a safra 2018/2019 houve respostas significativas para o fosfato natural reativo e Top-Phos®. A aplicação do fosfato natural reativo na profundidade de 6,4 cm resultou em plantas com altura de aproximadamente 0,41 m, mesma altura alcançada no tratamento com Top-Phos® em profundidade de adubação de 4,75 cm. Para o superfosfato simples não houve modelos matemáticos que se ajustassem aos dados, apresentando altura média

inicial de aproximadamente 0,40 m (Figura 5A).

Figura 5 - Altura média de plantas de milho (cm) no estágio (V6), nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das profundidades de adubação e fontes de fósforo



Fonte: Autoria Própria (2021)

Menores respostas para altura inicial de plantas foram observadas para os tratamentos com fosfato natural reativo aplicados em superfície, devido à ausência de incorporação dos fosfatos naturais ao solo, o qual deve ter prejudicado a solubilização destes, causado pelo pequeno contato de suas partículas com o solo (OLIVEIRA JUNIOR; PROCHNOW; KLEPKER, 2008).

Os melhores resultados foram obtidos quando a adubação foi aplicada próximo a semente de milho (em torno de 5,0 cm). Quando toda a exigência hídrica e nutricional está disponível próximo a raiz, a planta mantém a produção e o crescimento (TEIXEIRA; LIMA; MIELEZRSKI, 2018). Do contrário, a planta diminui ou cessa o seu crescimento vegetativo e aumenta o crescimento de raízes para obtenção de água e nutrientes, o que demanda um gasto energético da planta.

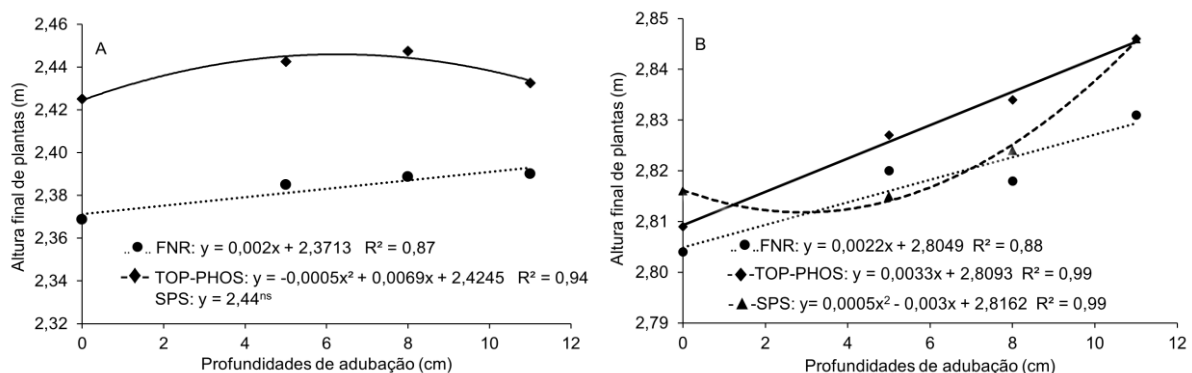
A aplicação do superfosfato simples na segunda safra 2019/2020 proporcionou aumento linear na altura de plantas, com o aumento da profundidade de adubação. Em relação ao Top-Phos[®], é possível constatar que maiores alturas de plantas foram obtidas quando a adubação foi aplicada em 11,0 cm de profundidade (Figura 5B). Estes resultados estão relacionados à formulação do Top-Phos[®], o qual tem em sua formulação N fornecido prontamente as plantas, além de que a aplicação do adubo mais profundo, estimula maior crescimento inicial da planta, melhor desenvolvimento da parte aérea e maior desenvolvimento do sistema radicular proporcionado maior resistência ao acamamento (BIULCHI, 2012). De acordo com Silva *et al.* (2012), uma característica desejada nesta fonte de fertilizante fosfatado, é que ela apresenta um comportamento diferente das fontes solúveis convencionais, devido em sua composição possui teor de 3% de N.

Menor eficiência técnica em relação aos tratamentos que receberam Top-Phos[®], foi observada para a profundidade de 2,43 cm proporcionando altura inicial de plantas de 0,39 m. Para o fosfato natural reativo não houve diferenças significativas em relação às diferentes profundidades de adubação, apresentando altura média de inicial de plantas de aproximadamente 0,41 m (Figura 5B). Estes resultados estão relacionados às características da adubação fosfatada, apresentando menor solubilidade em água, além dos atributos do solo, como pH e as concentrações de Ca na solução do solo, que provavelmente dificultam a solubilização dos fosfatos naturais, o que pode diminuir a eficiência agrônômica dessas fontes (FINK *et al.*, 2016).

A disponibilização de fósforo nos estágios iniciais de desenvolvimento vegetativo proporciona bom desenvolvimento radicular e impulsiona o crescimento de folhas, pois o período de maior extração de nutrientes no milho ocorre durante o crescimento de folhas e colmo, do estágio V₄, que corresponde a 4^a folha desenvolvida até o pendoamento (BORGES *et al.*, 2015).

Para a altura final de plantas na cultura do milho, durante o primeiro ano de condução do experimento (safra 2018/2019), respostas significativas foram observadas para a fonte Top-Phos[®], com 2,45 m de altura, com adubação fosfatada aplicada em profundidade de 6,9 cm (Figura 6A).

Figura 6 - Altura final das plantas de milho (m), safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fósforo



Fonte: Autoria Própria (2021)

Já, o superfosfato simples não apresentou modelo matemático que se ajustasse aos dados, com altura média de plantas de aproximadamente 2,44 m, enquanto, que para o fosfato natural reativo (FNR), observa-se aumento linear na altura final de plantas a medida que se aumenta a profundidade de adubação. Cabe destacar, que das fontes utilizadas, o FNR proporcionou menores alturas finais de

plantas (Figura 6A).

Para a segunda safra 2019/2020, se observa aumento linear na altura final de plantas para o fosfato natural reativo e o Top-Phos[®]. Para o Top-Phos[®] e superfostado simples a altura final de plantas foi de aproximadamente 2,85 m, enquanto para o fosfato natural reativo, a maior altura de plantas obtida foi de 2,83 m, ambas obtidas quando a adubação foi realizada a 11,0 cm de profundidade (Figura 6B).

A menor eficiência técnica para a fonte de adubação fosfatada de superfostado simples foi observada, quando a mesma foi depositada a 3,0 cm de profundidade, com altura de plantas de 2,81 m. O Top-Phos[®] aplicado em superfície apresentou maior altura final de plantas em relação as demais fontes de adubação fosfatada para a safra 2018/2019, porém, para a safra 2019/2020 praticamente não houve destaque para nenhuma das fontes utilizadas.

Hanger *et al.* (2007) salientam que o efeito da aplicação de superfostado triplo e fosfato natural reativo proporcionam melhor nutrição a planta com o uso de fonte de maior solubilidade (superfostado triplo), devido à maior velocidade de liberação do nutriente ocasionando a diminuição do efeito da competição solo e planta, uma vez que a fixação do fósforo pelos coloides do solo ocorre de forma preferencial.

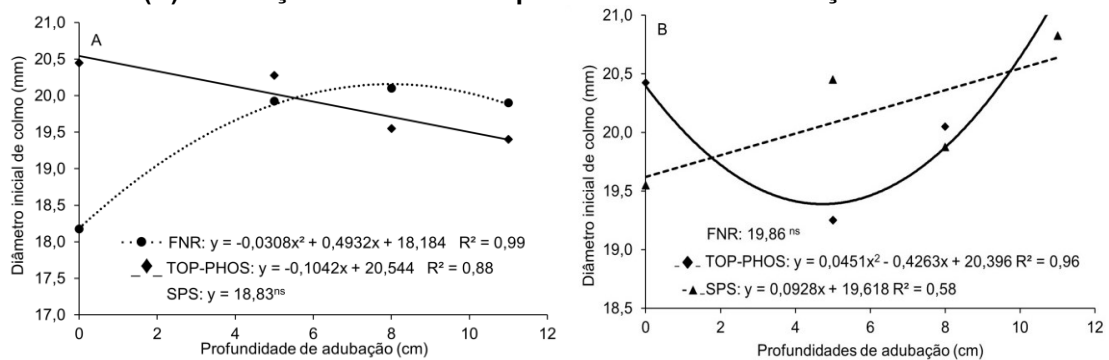
Para Novais, Smyth e Nunes (2007), os fosfatos naturais são reconhecidos pela sua baixa solubilidade, mostrando-se eficientes no suprimento de fósforo para culturas de ciclo curto, principalmente quando associados a técnicas de manejo que favoreçam a solubilização.

4.4.3 Diâmetro inicial e final de colmo

O diâmetro inicial de colmo da cultura do milho na safra 2018/2019, apresentou resposta quadrática com aplicação do fosfato natural reativo, com diâmetro inicial de colmo de 20,16 mm, em profundidade de adubação de aproximadamente 8,0 cm. Esse resultado indica que o fosfato natural reativo teve a sua maior eficiência quando aplicado em profundidade (Figura 7A).

Em relação a adubação fosfatada com Top-Phos[®] verificou-se redução linear no diâmetro inicial de colmo com o aumento da profundidade de adubação. Para a adubação com superfostado simples, o diâmetro médio de colmo foi de 18,83 mm, não tendo nenhum modelo matemático que se ajustasse aos dados.

Figura 7 - Diâmetro de colmo (V6) das plantas de milho (mm), nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B) em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fósforo



Fonte: Autoria Própria (2021)

Na safra 2019/2020, a aplicação de superfosfato simples proporcionou aumento linear no diâmetro inicial de colmo, enquanto que para os tratamentos que receberam aplicação de Top-Phos[®], apresentaram comportamento quadrático, com maior diâmetro (21,14 mm) obtido na profundidade de adubação de 11,0 cm. Entretanto, menores respostas foram observadas nos tratamentos que receberam adubação com Top-Phos[®] a 5,0 cm de profundidade. Para a adubação com fosfato natural reativo, o diâmetro médio de colmo foi de 19,86 mm, não tendo nenhum modelo matemático que se ajustasse aos dados (Figura 7B).

Estes resultados indicam a melhor nutrição da planta com o uso de fonte de maior solubilidade, por estar diretamente associada à velocidade de liberação do nutriente pelo fosfato solúvel e uma diminuição do efeito da competição solo/planta, uma vez que a fixação do fósforo pelos coloides do solo ocorre de forma preferencial, além da presença de nitrogênio na composição desta fonte de adubação fosfatada (SALDANHA *et al.*, 2017).

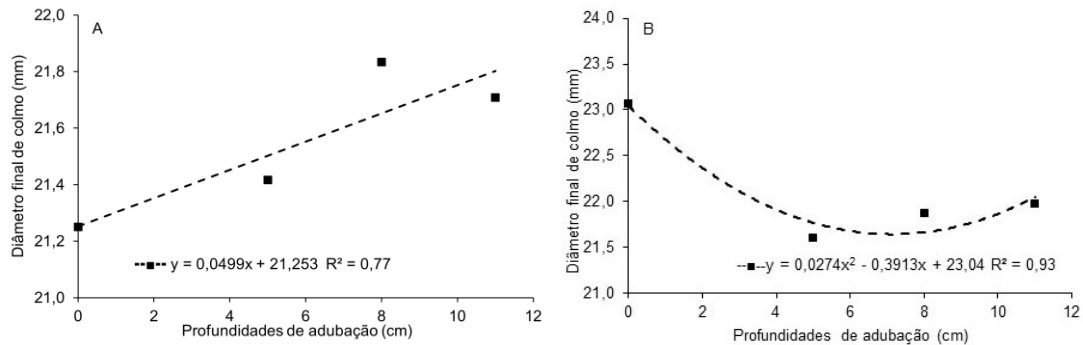
Algumas características do SPD podem interferir na dinâmica e disponibilidade do P no solo e, por conseguinte, na resposta das culturas à adubação fosfatada. O não revolvimento do solo, além de reduzir a erosão e propicia maior teor de água, facilitando o processo de difusão, diminui o contato entre os coloides do solo e o íon fosfato, reduzindo as reações de adsorção (LANA; BUCK; LANA, 2014).

O diâmetro final de colmo safra 2018/2019 (Figura 8A), houve aumento linear do diâmetro quando a adubação fosfatada foi aplicada em profundidade.

Vários são os fatores que podem ter contribuído para esta ausência de resultados entre as fontes de adubação fosfatada, entre elas, os elevados teores de P no solo em questão. Outro fator está relacionado a evolução genética das novas

cultivares de milho que, ao melhorarem a eficiência do sistema radicular, aumentam a capacidade de explorar o P lábil do solo (CRUZ *et al.*, 2012).

Figura 8 - Valores médios do diâmetro final de colmo (mm), nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fosforo



Fonte: Autoria Própria (2021)

Na safra 2019/2020 (Figura 8B), verificou-se que menores diâmetros foram obtidos para a profundidade de adubação de 7,14 cm com valor médio de 21,64 mm e, que melhores respostas foram observadas para os tratamentos que receberam adubação fosfatada à lanço, com diâmetro final de 23,07 mm.

De acordo Santos *et al.* (2015), as melhores respostas à aplicação de fertilizantes fosfatados tem-se observado na linha de semeadura, quando os teores de P forem baixo, a adubação fosfatada à lanço apresenta melhor eficiência, em solos com altos teores de P disponível, desta forma a realização da adubação em cobertura proporciona a manutenção dos teores de P no solo.

De acordo com Teixeira, Lima e Mielezrski (2018) tratamentos com deposição do adubo em menores profundidades na cultura do milho, favorecem a disponibilidade inicial de nutrientes para a plantas, proporcionando maior desenvolvimento vegetativo, conseqüentemente, maior desenvolvimento da parte aérea, maior área foliar e maior em diâmetro da planta. Para Durães (2007), plantas com maiores diâmetros de colmo, apresentam maior resistência a ocorrência de distúrbios fisiológicos e fitossanitários, incidência de doenças e estresse hídrico.

Em relação às fontes de adubação fosfatada apenas para a safra 2019/2020 houve diferença significativa (Tabela 13).

Os tratamentos que receberam como fonte de adubação Top-Phos®, apresentaram maior diâmetro de colmo (22,41 mm) não diferenciando entre os tratamentos que receberam fosfato natural reativo (22,20 mm). O menor diâmetro foi

verificado para superfosfato simples com 21,85 cm, o qual não diferiu estatisticamente do fosfato natural reativo.

Tabela 13 - Diâmetro final de colmo em função das fontes de adubação fosfatada, safra 2019/2020

Fontes de Fósforo	Diâmetro final de colmo (mm)
	Safra 2019/2020
FNR	22,20 ab
TOP-PHOS®	22,41 a
SFS	21,85 b

*Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Teste F, $p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2021)

Para Souza *et al.*, (2014) a provável explicação para estes resultados pode estar relacionada ao efeito residual no solo através de adubações realizadas em safras anteriores.

O diâmetro do colmo é uma variável importante nos programas de melhoramento, pois possui elevada relação direta com a produtividade e com a resistência da planta a déficit hídrico e ao acamamento, além de atuar no suporte de folhas e partes florais. Durante a fase de enchimento de grãos, parte dos compostos do colmo como as sacaroses serão mobilizados para as espigas, aumentando a massa de mil grãos. Entretanto, além da influência genética sobre o diâmetro do colmo, ele também serve como traçador de uma boa condição edáfica, principalmente no que se refere ao bom suprimento de nutrientes e a umidade em quantidade adequada (ANGHINONI; BISSANI, 2008; SOUZA *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2018).

4.4.4 Altura de inserção de espigas

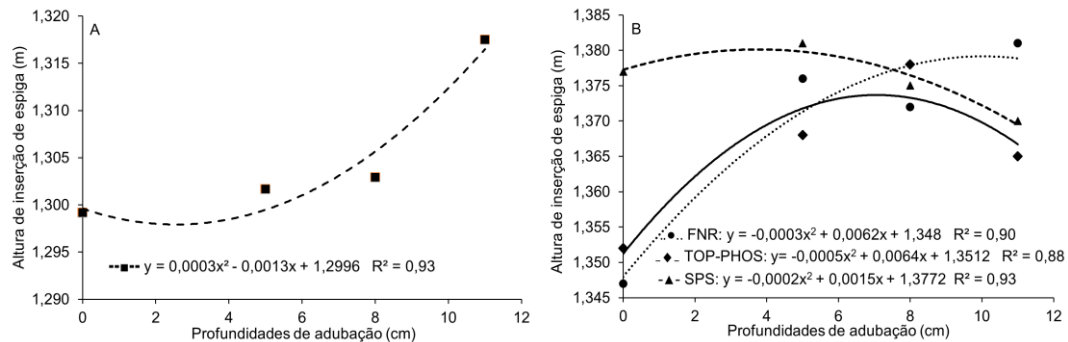
Para a variável altura de inserção de espiga para a safra 2018/2019, menor eficiência técnica ocorreu em profundidade de adubação de 2,17 cm, com altura de inserção de espiga de aproximadamente 1,30 m (Figura 9A).

Entretanto as melhores respostas para a adubação fosfatada aplicada em profundidade de 11,0 cm apresentando altura de inserção de espiga superior a 1,32 m, não havendo diferenças estatísticas em relação às fontes de adubação testadas para a variável avaliada (Figura 9A).

Estes resultados evidenciaram que a aplicação de adubação em profundidade proporciona maior desenvolvimento radicular da planta, devido aos

maiores teores de água e nutrientes disponíveis para as plantas (LEIRI *et al.*, 2010).

Figura 9 - Valores médios da altura de inserção de espiga de milho (m), nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fósforo



Fonte: Autoria Própria (2021)

Para a safra 2019/2020 (Figura 9B), o fosfato natural reativo apresentou maior altura de inserção de espiga, quando a adubação foi aplicada na profundidade de 10,33 cm, resultando na altura de inserção de espiga de 1,38 m.

Para as fontes de fósforo, a maior altura de inserção de espigas de milho foi obtida com adubação de superfosfato simples e Top-Phos®, apresentando altura de 1,32 m e 1,31 m, respectivamente (Tabela 14).

Tabela 14 - Altura de inserção da espiga em função das fontes de adubação fosfatada na safra 2019/2020

Fontes de Fósforo	Altura de inserção da espiga
	Safra 2019/2020
FNR	1,29 b
TOP-PHOS®	1,32 a
SFS	1,31 a

*Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Teste F, $p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2021)

Já, a menor altura de inserção de espigas foi verificada para o fosfato natural reativo (1,29 m) para o primeiro ano de condução do experimento, safra 2018/2019 (Tabela 14). Para o Top-Phos®, maior eficiência técnica foi observado na profundidade de adubação de 6,4 cm com altura de inserção de espiga de 1,37 m.

De acordo com Kopper *et al.* (2017) a produtividade do milho está diretamente relacionada com a altura de inserção de espigas, mostrando que plantas com espigas inseridas em maior altura tendem a maior produção.

Ao avaliarmos a eficiência técnica da fonte de adubação superfosfato simples observamos que maior altura de inserção de espiga de milho foi na

profundidade de adubação de 3,75 cm com altura de 1,38 cm (Tabela 14).

Bello, Mello e Crusciol (2010) e Souza *et al.* (2014) avaliando a produtividade do milho, observaram que a altura de inserção das espigas foi a variável que apresentou maior correlação com a produtividade. Por outro lado, de acordo com Kappes *et al.* (2011) menor distância entre o solo e a altura de inserção da espiga proporciona melhor equilíbrio para a planta, ocasionando menor quebra de colmo, principalmente em áreas com estande de planta mais elevado, pois o diâmetro de colmo caracteriza-se por ser menor.

4.5 Desenvolvimento da cultura do milho com tratamento adicional

Na safra 2018/2019, as variáveis altura inicial e final de plantas, diâmetro inicial e final de colmo apresentaram diferenças significativas para o contraste (tratamentos versus testemunha).

Tabela 15 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos das variáveis estande inicial de plantas (EIP), altura inicial de plantas (AIP), diâmetro inicial de colmo (DIC), estande final de plantas (EFP), altura final de plantas (AFP), diâmetro final de colmo (DFC) e altura de inserção de espiga (AIE) em relação a fontes e profundidades de adubação em comparação a testemunha

FV	GL	Safr 2018/2019						
		EIP	AIP	DIC	EFP	AFP	DFC	AIE
Blocos	3	4885134,3	0,0001	0,05	1436225	0,0001	0,0897	0,0001
Trat.+Test.	12	6702387,5 ^{ns}	0,0029*	3,79*	2764978,2 ^{ns}	0,0035*	0,4479 ^{ns}	0,0008*
Trat.	11	6881802,9 ^{ns}	0,0004*	2,13*	2918415 ^{ns}	0,0029*	0,3347 ^{ns}	0,0009*
Trat. x Test.	1	4728817,2 ^{ns}	0,0376*	22,12*	1077169 ^{ns}	0,0096*	1,6927*	0,0002 ^{ns}
Resíduo	36	5139148,4	0,0002	0,24	4315190	0,0007	0,2459	0,0001
CV (%)		3,13	2,65	2,57	2,91	0,34	2,31	0,72
		Safr 2019/2020						
Blocos	3	15397871,06	0,000385	0,488462	5266159,9	0,00002	0,2345	0,0002
Trat. + Test.	12	6287153,69 ^{ns}	0,003843*	1,66234*	2760093,08 ^{ns}	0,0013*	2,1048*	0,0006*
Trat.	11	6858713,12 ^{ns}	0,003967*	1,81197*	2690369,09 ^{ns}	0,0007*	1,8077*	0,0004*
Trat. x Test.	1	0,00 ^{ns}	0,002484*	0,01641 ^{ns}	3527057 ^{ns}	0,0077*	5,3724*	0,0028*
Resíduo	36	5003990,91	0,000414	0,302211	1984987,29	0,0002	0,3329	0,0001*
CV (%)		3,07	4,83	2,74	1,96	0,54	2,62	0,88

^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade. *: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria Própria (2021)

Para a safra 2019/2020, houve diferenças significativas para as variáveis altura inicial e final de plantas, diâmetro final de colmo e altura de inserção de espiga (Tabela 15).

Para as fontes de adubação fosfatada em diferentes profundidades quando comparadas ao tratamento testemunha, para ambas as safras, observa-se que o

estande inicial e final de plantas não apresentaram diferenças significativas, com média de 72.530,85 e 72.839,64 plantas por ha⁻¹ (2018/2019), respectivamente para o estande inicial e final de 71.486,22 e 71.581,18 plantas por ha⁻¹ (2019/2020) (Tabela 16).

Tabela 16 - Estande inicial de plantas (EIP, pl ha⁻¹), altura inicial de plantas (AIP, m), diâmetro de inicial de colmo (DIC, mm) no estágio de desenvolvimento V₆, estande final de plantas (EFP, pl ha⁻¹), altura final de planta (AFP, m), diâmetro final de colmo (DFC, mm) e altura de inserção de espiga (AIE, m), em função das profundidades e fontes de adubação fosfatada comparadas a testemunha

Tratamentos	Safrá 2018/2019						
	EIP	AIP	DIC	EFP	AFP	DFC	AIE
T1 (FNR 0)	74.691,35 ^{ns}	0,36 a	18,17 a	72.530,86 ^{ns}	2,36 b	21,25 b	1,29 ^{ns}
T2 (TOP-PHOS [®] 0)	70.987,65	0,40 a	20,45 a	70.679,01	2,42 a	21,25 b	1,29
T3 (SPS 0)	73.765,42	0,39 a	18,82 a	72.530,86	2,43 a	21,25 b	1,30
T4 (FNR 5)	73.148,14	0,41 a	19,92 a	71.913,57	2,38 a	21,37 b	1,28
T5 (TOP-PHOS [®] 5)	72.222,21	0,42 a	20,27 a	71.296,29	2,44 a	21,37 b	1,30
T6 (SPS 5)	70.061,72	0,40 a	18,55 a	69.753,08	2,42 a	21,50 b	1,31
T7 (FNR 8)	72.530,85	0,40 a	20,10 a	72.222,22	2,38 a	22,12 a	1,28
T8 (TOP-PHOS [®] 8)	71.913,57	0,39 a	19,55 a	70.679,01	2,44 a	21,62 b	1,30
T9 (SPS 8)	72.530,85	0,39 a	18,85 a	71.913,57	2,43 a	21,75 b	1,31
T10 (FNR 11)	73.148,14	0,39 a	19,90 a	72.222,22	2,39 a	21,50 b	1,29
T11 (TOP-PHOS [®] 11)	70.679,00	0,40 a	19,40 a	71.296,29	2,43 a	22,00 a	1,32
T12 (SPS 11)	72.222,21	0,40 a	19,07 a	71.296,29	2,44 a	21,62 b	1,32
Testemunha	73.456,78	0,26 b	16,97 b	70.987,65	2,36 b	20,87 b	1,29
Safrá 2019/2020							
T1 (FNR 0)	73.765,42 ^{ns}	0,42 b	20,15 ^{ns}	71.913,57 ^{ns}	2,80 b	23,65 a	1,34 b
T2 (TOP-PHOS [®] 0)	74.691,35	0,40 b	20,42	72.530,85	2,80 b	23,07 a	1,35 b
T3 (SPS 0)	72.530,85	0,39 b	19,55	71.296,28	2,81 a	22,47 a	1,37 a
T4 (FNR 5)	73.148,14	0,42 b	19,32	72.222,21	2,82 a	21,60 b	1,37 a
T5 (TOP-PHOS [®] 5)	72.839,49	0,42 b	19,25	72.222,21	2,82 a	22,5 a	1,37 a
T6 (SPS 5)	70.987,64	0,41 b	20,45	70.679,00	2,81 a	21,55 b	1,38 a
T7 (FNR 8)	74.382,70	0,40 b	20,87	72.839,49	2,81 a	21,87 b	1,37 a
T8 (TOP-PHOS [®] 8)	70.370,36	0,43 b	20,05	70.370,36	2,83 a	21,87 b	1,37 a
T9 (SPS 8)	71.604,93	0,42 b	19,87	70.370,36	2,82 a	21,40 b	1,37 a
T10 (FNR 11)	73.765,42	0,43 b	19,12	71.604,93	2,83 a	21,67 b	1,38 a
T11 (TOP-PHOS [®] 11)	73.148,14	0,51 a	21,10	71.913,57	2,84 a	22,22 a	1,36 b
T12 (SPS 11)	72.839,64	0,43 b	20,82	71.913,57	2,84 a	21,97 b	1,37 a
Testemunha	72.839,49	0,40 b	20,12	70.679,00	2,77 b	20,95 b	1,34 b

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade (Teste F, p<0,05); ^{ns}: não significativo.

Fonte: Autoria Própria (2021)

Na safra 2018/2019, a altura inicial de plantas de milho apresentou para todas as profundidades de adubação e fontes de P, valores superiores ao tratamento controle, apresentando altura média de aproximadamente 0,40 m, enquanto a controle apresentou 0,26 m. Para a safra 2019/2020, somente a aplicação da

adubação fosfatada Top-Phos® a 11,0 cm de profundidade apresentou diferença significativa em relação aos demais tratamentos e a testemunha, com altura de plantas inicial de 0,51 m (Tabela 16).

O diâmetro inicial de colmo apresentou comportamento similar a altura de plantas na safra 2018/2019, com média de 19,47 mm para os tratamentos, e 16,97 mm para a testemunha. Para a safra 2019/2020 não foi observado diferenças entre os tratamentos e a testemunha, com valor médio de 20,08 mm (Tabela 16).

A altura final de plantas de milho com a aplicação de fosfato natural reativo em superfície (safra 2018/2019), não apresentou diferença significativa em relação a testemunha, com altura média de 2,36 m, entretanto verifica-se que as demais profundidades de adubação e fontes fosfatadas apresentaram altura média de plantas de milho de 2,43 m, superior a testemunha.

Na safra 2019/2020, na altura final de plantas os tratamentos que receberam adubação em superfície, ou seja, adubação à lanço, as fontes de adubação fosfatada fosfato natural reativo e Top-Phos® apresentaram altura média 2,80 m, não diferindo da testemunha. Os demais tratamentos apresentam altura final superior a testemunha. Essa diferença pode ser decorrente da liberação lenta de fósforo absorvível ao longo do ciclo da cultura (FIGUEIREDO, BARBOSA; OLIVEIRA, 2012).

Para o diâmetro final de colmo (safra 2018/2019) o fosfato natural reativo na profundidade de 8,0 cm e Top-Phos® a 11,0 cm, apresentaram médias superiores a testemunha, enquanto que os demais tratamentos não diferiram da mesma. Em 2019/2020, o uso do fosfato natural reativo em superfície, o Top-Phos®, nas profundidades de 0,0, 5,0 e 11,0 cm e superfosfato simples em superfície, proporcionaram diâmetro final de colmo superior a testemunha (Tabela 16).

Na safra 2018/2019, a altura de inserção de espiga não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, com média de 1,30 m e o tratamento testemunha com altura de inserção de espiga de 1,29 m. Na safra 2019/2020, a aplicação de fosfato natural reativo em superfície e Top-Phos® a 11,0 cm de profundidade não apresentaram diferenças significativa com a testemunha, enquanto que, para as demais fontes e profundidades houve diferença significativas (Tabela 16).

Estes resultados estão relacionados a adubação fosfatada, uma vez que fontes mais solúveis, quando adicionadas ao solo, disponibilizam o nutriente rapidamente as plantas, aumentando sua concentração, porém têm sua eficiência

diminuída ao longo do tempo devido aos processos de adsorção e fixação que ocorrem na maioria dos solos brasileiros (SILVA *et al.*, 2012).

A aplicação do fosfato natural reativo localizada na linha de semeadura resulta em significativa redução na eficiência agrônômica inicial, pois a dissolução de produtos de baixa solubilidade depende do maior contato com o solo, o que ocorre na aplicação à lanço com incorporação. A utilização desta fonte de adubação fosfatada na linha de semeadura pode ser recomendada na adubação de manutenção apenas para áreas já com elevada disponibilidade de P, como é o caso da área onde o experimento foi implantado. O preparo do solo, homogeneizando o produto aplicado na linha de semeadura no cultivo anterior, favorece o efeito residual. A eficiência dos fosfatos naturais reativos, seja menor em solos que tenham excesso de calcário, apresentando pH em água acima de 6,0 e em solos arenosos (SOUSA; LOBATO, 2003).

Para Fontoura, Vieira e Bayer (2010) solos com teores de P acima dos níveis críticos, apresentam pequenas respostas em relação a adubação fosfatada, entretanto produtores estão aplicando grande quantidade de fosfatos e, nessa situação, pouco se sabe da eficiência dos fosfatos naturais reativos, em comparação aos fosfatos solúveis em solos sob plantio direto, principalmente em regiões com elevado potencial produtivo.

4.6 Componentes de rendimento e produtividade de milho

Para a safra 2018/2019 não houve interação significativa entre os fatores para nenhum dos caracteres avaliados, porém ao analisarmos de forma isolada as variáveis, número de grãos por fileira e produtividade final na cultura do milho, apresentaram diferenças significativas para as fontes de adubação fosfatada, enquanto, que as profundidades de adubação fosfatada na cultura do milho apresentaram respostas significativas para as variáveis número de grãos por fileira e massa de mil grãos (Tabela 17).

Na safra 2019/2020 as fontes de adubação fosfatada influenciaram significativamente o número de fileiras por espiga e produtividade final do milho, enquanto, que a profundidade de aplicação da adubação fosfatada apresentou respostas significativas para a variável número de grãos por fileira (Tabela 17).

Tabela 17 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos das variáveis número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), massa de mil grãos (MMG) e produtividade final do milho (PFM) em função das profundidades e fontes de adubação fosfatada

FV	GL	Safrá 2018/2019			
		NFE	NGF	MMG	PFM
Blocos	3	0,08	0,97	5,50	730778,1
Fontes (F)	2	12,27 ^{ns}	47,40*	24,76 ^{ns}	4032069,4*
Prof. (P)	3	0,02 ^{ns}	41,80*	32,81*	577865,4 ^{ns}
F x P	6	0,27 ^{ns}	3,67 ^{ns}	12,47 ^{ns}	443801,1 ^{ns}
Resíduo	33	0,41	3,40	10,56	222825,1
CV(%)	47	3,73	5,47	0,96	4,82
Safrá 2019/2020					
Blocos	3	0,07639	0,52083	12,52093	123442,5867
Fontes (F)	2	4,5625*	0,8125 ^{ns}	6,90491 ^{ns}	1064564,51649*
Prof. (P)	3	1,02083 ^{ns}	15,6875*	17,84777 ^{ns}	532074,15071 ^{ns}
F x P	6	1,64583*	1,72917 ^{ns}	6,08227 ^{ns}	291974,93463 ^{ns}
Resíduo	33	0,53093	1,33902	9,02992	189963,1223
CV(%)	47	4,15	3,21	0,88	4,09

^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade. *: significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Autoria Própria (2021)

4.6.1 Número de fileiras por espiga

O número de fileira por espigas na safra 2018/2019, não apresentou diferenças estatísticas entre as fontes de adubação fosfatada, apresentando valor médio de 17 fileiras por espiga de milho (Tabela 18).

Tabela 18 - Número de fileiras por espiga de milho em função das fontes de adubação fosfatada, nas safras 2018/2019 e 2019/2020

Fontes de Fósforo	Número de fileiras por espiga	
	Safra 2018/2019	Safra 2019/2020
FNR	17,18 ^{ns}	18,25 a
SPS	17,50	17,06 b
TOP-PHOS®	16,25	17,50 b

^{ns}: não significativo; *Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Teste F, p<0,05).

Fonte: Autoria Própria (2021)

Na safra 2019/2020, o uso do fosfato natural reativo apresentou maior NFE, com valor médio de 18,25, não diferindo significativamente do Top-Phos® com 17,5. Já, o uso de superfosfato simples proporcionou menor valor, com 17,06 fileiras por espiga de milho (Tabela 18).

Esse resultado pode estar relacionado ao acumulado de P nas plantas de milho e no solo, independentemente da reatividade da fonte fosfatada e do modo de

aplicação utilizado (FRANZINI; MURAOKA; CORASPE-LEÓN, 2009). O número de fileiras proporcionado pelo Top-Phos[®] pode estar relacionado ao nitrogênio de sua formulação, que proporcionou melhor aproveitamento de nutrientes para as plantas.

O número de fileiras do milho é definido no estágio vegetativo entre V₅ e V₈, que corresponde em média de 30 a 35 dias após a emergência (MAGALHÃES; DURÃES, 2008; FANCELLI, 2015). Segundo Lopes *et al.* (2007) a definição do número de fileiras por espiga, está relacionada a genética da cultura, disponibilidade de água, nutrientes, nitrogênio, além das práticas agrícolas adotadas durante o ciclo da planta, podem influenciar na definição do número de fileiras por espiga.

4.6.2 Número de grãos por fileira

A aplicação com Top-Phos[®] na cultura do milho para safra 2018/2019 apresentou maior número de grãos por fileira, com média de 35,50 grãos. As demais fontes de adubação fosfatada não apresentaram diferenças significativas entre si, com 32,06 e 33,63 grãos por fileira para o fosfato natural e superfosfato simples, respectivamente (Tabela 19). Para a safra 2019/2020 não foram observadas diferenças significativas, com valor médio de 36,12 grãos por fileira.

Tabela 19 - Número médio de grãos por fileira em função das fontes de adubação fosfatada, nas safras 2018/2019 e 2019/2020

Fontes de Fósforo	Número de grãos por fileira	
	Safra 2018/2019	Safra 2019/2020
FNR	32,06 b	36,12 ^{ns}
SPS	33,63 b	36,37
TOP-PHOS [®]	35,50 a	35,85

^{ns}: não significativo; *Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Teste F, p<0,05).

Fonte: Autoria Própria (2021)

A ausência de respostas significativas para a safra 2019/2020, pode ser atribuída ao histórico de adubação fosfatada da área do estudo, parte dos sítios mais reativos do solo já foi saturada e, por isso, o fósforo adicionado na última aplicação pode ter sido adsorvido com menor energia de ligação, apresentando maior disponibilidade para as plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2014) (Tabela 19).

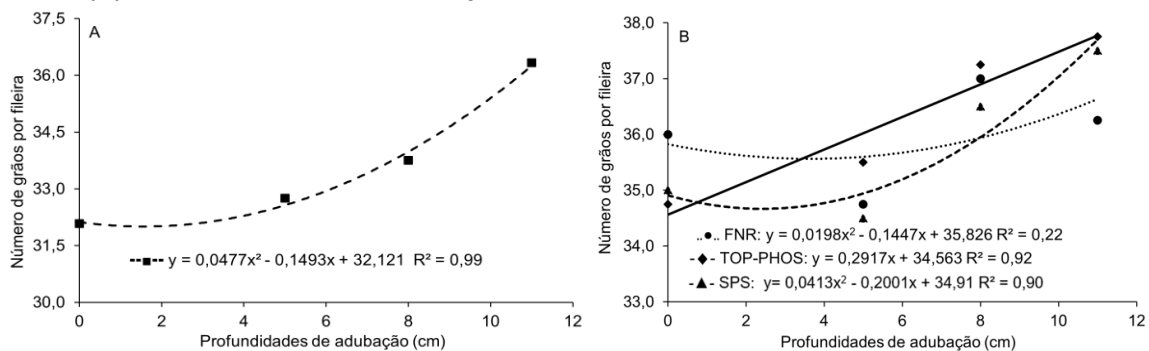
A determinação dos componentes de rendimento na cultura do milho como número de grãos por fileira geralmente coincide na segunda semana após a emergência das plantas, fase na qual se inicia a formação dos primórdios da espiga (KOPPER *et al.*, 2017).

Nas condições deste experimento se observa que no mês de outubro, ocorreram registros de precipitação de aproximadamente 300 mm, com temperatura média de 22 °C (Figura 1), beneficiando a interação planta e micro-organismo, tal como o aproveitamento da adubação, o que favoreceu a determinação desses componentes de produção (OLIVEIRA; SILVA; SANTOS, 2014).

É preciso levar em consideração que, apesar das diferenças de reatividade das fontes de adubação fosfatada e das características de contato do P com o solo, a absorção pela cultura e os processos de adsorção no decorrer do ciclo da cultura do milho devem ter contribuído na disponibilidade do nutriente para as plantas (SANTOS *et al.*, 2008).

Para a safra 2018/2019 (Figura 10A), observa-se que as fontes de adubação fosfatadas, não apresentaram diferenças entre si, porém verificamos diferenças significativas entre as profundidades de adubação.

Figura 10 - Valores médios de número de grãos por fileira nas safras 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B), em função das diferentes profundidades de adubação e fontes de fósforo



Fonte: Autoria Própria (2021)

Na safra 2019/2020, o uso de fosfato natural reativo apresentou menor eficiência na profundidade de adubação de 3,65 cm, com valor médio de 35,56 grãos de milho por fileira. Para a adubação realizada com Top-Phos® houve aumento linear, com o aumento da profundidade de adubação. Os tratamentos que receberam aplicação com fontes de superfosfato simples apresentaram, resposta quadrática em função da profundidade de adubação (Figura 10B). Melhores respostas foram verificadas para adubação a 11,0 cm de profundidade.

A provável explicação para maior número de grãos por fileira na profundidade de adubação a 11,0 cm deve-se a baixa mobilidade de P no solo, favorecendo o acúmulo de P nas camadas mais superficiais, principalmente nas camadas de 5,0 a 10,0 cm (OLIVEIRA *et al.*, 2012), onde, devido ao não

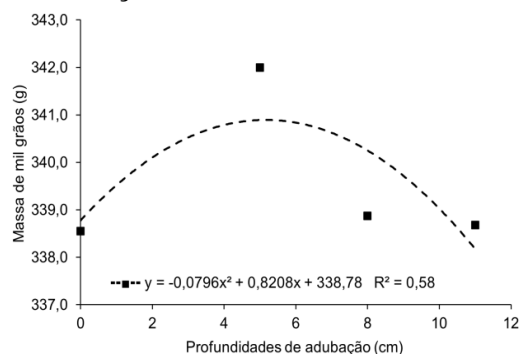
revolvimento do solo, apresentaram menor solubilização ou não foram adsorvidos onde o contato direto dos fertilizantes com a fase mineral do solo aumenta os processos de adsorção de P-lável nas formas não-láveis (LANA, BUCK; LANA, 2014).

Lana, Buck e Lana (2014), analisando os componentes de produção de milho sob fontes 30, 60, 90, 120, kg ha⁻¹ P₂O₅ e duas fontes: Umostart 46% de P₂O₅, e fosfato monoamônico (MAP), 48% de P₂O₅, não encontram resposta significativa para comprimento de espiga, número de fileiras de grãos por espiga, massa de mil grãos e produtividade.

4.6.3 Massa de mil grãos

A maior eficiência técnica em relação a variável massa de mil grãos (safra 2018/2019) foi obtida quando a adubação fosfatada foi depositada no solo a 5,0 cm de profundidade, apresentando valores de aproximadamente 342 g (Figura 11).

Figura 11 - Valores médios da massa de mil grãos de milho (g) em função das profundidades de adubação fosfatada na safra 2018/2019



Fonte: Autorial Própria (2021)

Em relação à safra 2019/2020 não houve diferenças significativas entre as fontes de adubação fosfatada e as profundidades de adubação na cultura do milho, apresentando massa de mil grãos com valor médio de 342,15 g (Figura 11).

Para Valadão *et al.* (2015) melhores produtividades são obtidas quando a adubação é realizada no sulco de semeadura, pois há distribuição em profundidade do adubo no sistema radicular do milho, principalmente quando há limitação física do solo, amenizando o efeito do estresse hídrico. Desta forma podemos afirmar que houve maior aproveitamento pelas raízes com a aplicação da adubação a 5,0 cm no sulco.

Barreto e Fernandes (2002), avaliaram as doses de 0, 45, 90, 135 e 180 kg

ha⁻¹ de P₂O₅, na cultura do milho em Argissolo Amarelo, aplicadas no sulco de plantio ou à lanço, e observaram que em menores profundidades de adubação houve maior massa de grãos na cultura do milho, com menor demanda de adubos fosfatados Lana, Buck e Lana (2014) verificaram que não houve resposta significativa para a massa de mil grãos com a aplicação de diferentes doses de fosforo 0, 30, 60, 90, 120, kg ha⁻¹ na forma de P₂O₅ e duas fontes de adubação fosfatada Umstart (46% de P₂O₅) e fosfato monoamônico (MAP) (48% de P₂O₅), devido ao fato de que os teores deste nutriente estar adequados no solo.

4.6.4 Produtividade de grãos

Em relação a produtividade de grãos na cultura do milho (Tabela 20), para a safra 2018/2019 verificou-se que os tratamentos que receberam aplicação com superfosfato simples apresentaram produção média de 10.361,43 kg ha⁻¹, enquanto as demais fontes não diferiram entre si, com médias de 9.629,03 e 9.400,50 kg ha⁻¹, para o Top-Phos® e fosfato natural reativo, respectivamente.

Tabela 20 - Produtividade final de milho em função das fontes de adubação fosfatada, safra 2019/2020

Fontes de Fósforo	Produtividade final de milho (kg ha ⁻¹)	
	Safra 2018/2019	Safra 2019/2020
FNR	9.400,50 b	10.760,64 a
SPS	10.361,43 a	10.860,91 a
TOP-PHOS®	9.629,03 b	10.372,53 a

ns: não significativo; *Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Teste F, p<0,05).

Fonte: Autoria Própria (2021)

A eficiência dos fosfatos industriais com maior solubilidade em água é maior em curto prazo, já a eficiência dos fosfatos naturais é maior com o tempo transcorrido do seu emprego no solo (ZHOU *et al.*, 2016). Esta fonte de adubação fosfatada apresenta como vantagem a disponibilidade do enxofre (S) para o solo e, portanto, supri as exigências das plantas com este elemento (SILVA *et al.*, 2015).

A produtividade de milho nos tratamentos submetidos a aplicação do fosfato natural reativo na safra 2018/2019, está relacionado a sua solubilidade no solo. Fontes de baixa solubilidade precisam de um maior tempo para liberação do P à solução do solo para então ser absorvido pelas plantas (MARIN *et al.*, 2015).

Para a safra 2019/2020 não houve diferenças significativas entre as fontes de adubação fosfatada, com valor médio de 10.664,69 kg ha⁻¹ (Tabela 20). As

médias de produtividade obtidas nas duas safras são superior à produtividade média do estado do Paraná, que é de aproximadamente 5.947 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

Ao considerar a produção de vários cultivos após a aplicação da adubação fosfatada, o desempenho do fosfato natural pode se equiparar ao das fontes mais solúveis (MOREIRA *et al.*, 2002).

O fósforo prontamente liberado dos fertilizantes solúveis passa para formas menos disponíveis com o tempo, enquanto os fosfatos naturais vão sendo solubilizados no decorrer do tempo (SOUZA *et al.*, 2018). Tendo em vista que uma fração relativamente pequena do P é aproveitada no primeiro ano, enquanto o restante permanece no solo, em formas de maior ou menor disponibilidade às plantas, o efeito residual passa a ser um componente muito importante na avaliação agrônômica e econômica de práticas de adubação fosfatada.

Para Resende *et al.* (2006), os resultados observados em relação a produtividade final do milho na safra 2019/2020, ocorre devido ao considerável aumento de eficiência relativa das fontes menos solúveis (fosfato natural) com o passar do tempo, esta explicação está relacionada as condições que interferem na dissolução dos fosfatos reativos. Porém se deve observar que as condições de fertilidade do solo, antes da instalação do experimento, devem ter contribuído, de forma expressiva, para o nivelamento dos efeitos de tratamentos.

De acordo com Carneiro *et al.* (2017) estes resultados estão atrelados a dinâmica que se estabelece entre as formas de P, como a biodisponibilidade do nutriente, de forma que solos com certa reserva do nutriente permitem a igualdade de resposta a distintas estratégias de manejo da adubação fosfatada.

Os resultados obtidos para a última safra avaliada, podem ser explicados em função das fontes de adubações, pois o solo apresenta bons índices de fertilidade, tende a manter estáveis as concentrações nutricionais, sem muitas variações na produtividade da cultura (LEITE *et al.*, 2017).

Nunes *et al.*, (2011) avaliaram o método de aplicação de fontes de fósforo em Latossolo Vermelho muito argiloso com baixa disponibilidade inicial de fósforo. Os autores verificaram que não houve diferenças entre os dois modos de aplicação (sulco de semeadura ou à lanço). A adubação com fosfato natural reativo apresentou menor desempenho em relação ao superfosfato triplo no sistema plantio direto. Para o sistema de preparo convencional do solo o comportamento das duas fontes foi semelhante. A eficiência de uso do fósforo aumentou com a participação do milho no

esquema de rotação de culturas. A longo prazo, o plantio direto proporcionou maior eficiência de uso do fósforo em relação ao preparo convencional.

4.7 Componentes de rendimento e produtividade do milho com tratamento adicional

O resumo da análise de variância safra 2018/2019, para as variáveis número de grãos por linha e massa de mil grãos observa-se diferenças significativas para o contraste (tratamentos versus testemunha) (Tabela 21). Para a safra 2019/2020, não houve diferenças significativas para nenhum dos parâmetros avaliados.

Tabela 21 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrados médios das variáveis número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por linha (NGL), massa de mil grãos (MMG) e produtividade final de milho (PFM) kg ha⁻¹ em função das profundidades e fontes de adubação em comparação a testemunha

FV	GL	Safra 2018/2019			
		NFE	NGL	MMG	PFM
Blocos	3	0,071	1,051	12,5453	62449,04
Trat. + Test.	12	2,314*	21,391*	46,5290*	1055679,96*
Trat.	11	2,384*	22,021*	20,2545 ^{ns}	1132776,49*
Trat. x Test.	1	1,540 ^{ns}	14,463*	335,5484*	207618,11 ^{ns}
Resíduo	36	0,403	3,245	11,9769	218781,74
CV(%)		3,72	5,37	1,02	4,78
Safra 2019/2020					
Blocos	3	0,68589	0,121795	10,869096	100755,7084
Trat. + Test.	12	4,9807*	1,839744*	11,315617 ^{ns}	456671,972141*
Trat.	11	5,3693*	2,005682*	9,440618 ^{ns}	497926,450874*
Trat. x Test.	1	0,706 ^{ns}	0,01442 ^{ns}	31,940614 ^{ns}	2872,706077 ^{ns}
Resíduo	36	1,24143	0,732906	8,705911	213156,7395
CV (%)		3,09	4,88	0,86	4,33

^{ns}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade. *: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autorial Própria (2021)

De acordo com Rheinheimer, Anghinoni e Kaminski (2000) esses dados podem estar relacionados ao fornecimento da adubação fosfatada por vários anos consecutivos, permanecendo no solo em formas potencialmente disponíveis, uma vez que as perdas por erosão são pequenas e os sítios de adsorção de fosfatos com maior energia já estão saturados.

Para a variável número de fileiras por espigas de milho não houve diferenças significativas em relação a testemunha, apresentando valor médio de 16,5 fileiras e produtividade de 9.706,80 kg ha⁻¹, respectivamente (Safra 2018/2019) (Tabela 22).

Para a variável número de grãos por fileira, na safra 2018/2019 as melhores respostas foram verificadas com a aplicação do Thop-Phos[®] em 8,0 e 11,0 cm de

profundidade e superfosfato simples a 11,0 cm de profundidade de adubação na cultura do milho (Tabela 22).

Tabela 22 - Número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por linha (NGL), massa de mil grãos (MMG) e produtividade final de milho (PFM) kg ha⁻¹ em função das profundidades e fontes de adubação

Profundidades	Safrá 2018/2019			
	NFE	NGL	MMG (g)	PFM (kg ha ⁻¹)
T1 (FNR 0)	17,00 ^{ns}	29,75 b*	335,58 b	9.598,62 ^{ns}
T2 (TOP-PHOS® 0)	18,00	33,25 b	337,95 a	9.347,35
T3 (SPS 0)	16,50	33,25 b	342,13 a	9.887,17
T4 (FNR 5)	17,00	31,75 b	342,99 a	9.440,15
T5 (TOP-PHOS® 5)	18,25	34,75 b	341,19 a	9.196,97
T6 (SPS 5)	16,25	31,75 b	341,81 a	10.234,32
T7 (FNR 8)	17,25	32,25 b	337,22 a	9.306,74
T8 (TOP-PHOS® 8)	18,00	36,25 a	338,49 a	9.814,97
T9 (SPS 8)	16,00	32,75 b	340,90 a	10.544,49
T10 (FNR 11)	17,50	34,50 b	338,91 a	9.256,49
T11 (TOP-PHOS® 11)	17,75	37,75 a	338,15 a	10.156,83
T12 (SPS 11)	16,25	36,75 a	338,97 a	10.779,75
Testemunha	16,5	31,75 b	329,99 b	9.559,86
	Safrá 2019/2020			
T1 (FNR 0)	17,00 ^{ns}	36,00 ^{ns}	340,83 ^{ns}	10.025,31 ^{ns}
T2 (TOP-PHOS® 0)	18,25	34,75	340,80	10.402,16
T3 (SPS 0)	16,50	35,00	341,88	10.768,98
T4 (FNR 5)	17,50	34,75	344,24	10.543,51
T5 (TOP-PHOS® 5)	18,50	35,50	344,19	10.458,33
T6 (SPS 5)	16,25	34,50	343,31	10.776,85
T7 (FNR 8)	17,50	37,00	342,47	10.624,07
T8 (TOP-PHOS® 8)	18,00	37,25	345,74	11.203,08
T9 (SPS 8)	18,25	36,50	341,65	10.700,00
T10 (FNR 11)	18,00	36,25	342,91	10.297,22
T11 (TOP-PHOS® 11)	17,75	37,75	342,15	10.979,012
T12 (SPS 11)	17,25	37,50	340,95	11.197,83
Testemunha	17,5	36,5	339,66	10.692,59

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade (Teste F, p<0,05); ns: não significativo.

Fonte: Autoria Própria (2021)

A adubação com fosfato natural reativo em superfície não apresentou diferenças significativas para esta variável em comparação a testemunha para a variável massa de mil grãos (Tabela 22).

A menor massa de mil grãos de milho (335,58 g) foi obtida com a aplicação do fosfato natural reativo em superfície, a qual não diferiu a testemunha (329,99 g). As demais profundidades de adubação e fontes de P, não diferiram entre si, apresentando, no entanto, maiores médias em comparação a testemunha, com

aproximadamente 338,97 g (Safrá 2018/2019) (Tabela 22).

A explicação para os resultados obtidos em relação ao número de grãos por fileira, provavelmente, não se deve especificamente à uma causa isolada, mas a combinação de fatores como maior desenvolvimento radicular, as características do híbrido utilizado e maior solubilidade das fontes de adubação fosfatada.

Em relação a segunda safra 2019/2020 nenhuma das variáveis avaliadas apresentaram diferenças significativas em relação a testemunha, apresentando valores médios de 17,5 fileiras por espiga, 36,13 grãos por fileira, massa de mil grãos de 342,15 g e produtividade final de 10.692,59 kg ha⁻¹ (Tabela 22).

Desta forma, é possível verificar que lavouras conduzidas em solos com adequado suprimento de nutrientes, estão propensas a manter os patamares produtivos mesmo sem aplicação adicional de fertilizante, o que teria reflexos positivos sobre a rentabilidade dos empreendimentos.

De acordo com Pavinatto e Ceretta (2004) estas respostas estão associadas aos teores de fósforo presentes no solo em níveis acima do nível crítico. Os autores salientam que além do solo, as características das plantas também podem interferir na resposta à adubação fosfatada. A não aplicação da adubação, quando os teores de fósforo estão elevados, pode ser recomendada, entretanto requer muito cuidado, pois só deverá ser realizada ocasionalmente, pois o solo tenderá a baixar os teores de fósforo disponíveis, à medida que estiver explorando o solo sem a reposição dos nutrientes exportados pelas culturas.

Os resultados observados em relação à produtividade obtida pelo tratamento testemunha para a variável produtividade final do milho, pode ser atribuído à ausência de déficit hídrico, a fertilidade construída do solo, através do manejo do solo adotado ao longo do tempo, apresentando condições físicas, biológicas e químicas adequadas para as culturas expressarem seu potencial produtivo (KAPPES; ZANCANARO, 2014).

Através dos resultados observados, que não houve incremento de produtividade, independente da fonte de P utilizada. Entretanto, é necessário utilizar a adubação com o intuito de manter o teor de P adequado no solo, devido aos valores extraídos pela cultura. Sendo assim, a utilização da fonte mais barata se torna oportuna em solos com teor de P adequado, pois permite manter os teores de P no solo (LANA; BUCK; LANA, 2014).

5 CONCLUSÕES

O P-resina e P-total não apresentaram diferenças estatísticas entre as fontes de P e profundidades de adubação na cultura do milho após dois anos consecutivos de experimento, no SPD. Não houve diferenças significativas para ambos os métodos avaliados quando comparados a áreas que não receberam adubação fosfatada.

Para a largura superficial de sulco, não houve diferenças significativas para ambas as safras avaliadas. No entanto, houve elevação na área de solo mobilizada com o aumento profundidade de adubação, o que pode acarretar aumento de erosão e incidência de plantas daninhas.

Em ambas as safras, o aumento na profundidade de adubação proporcionou profundidade de semeadura de 5,0 cm.

A maior produtividade final de grãos na cultura do milho, foi obtida com a aplicação do superfosfato simples, enquanto as demais fontes não diferiram entre si para a safra 2018/2019, enquanto para a safra 2019/2020 não houve diferenças significativas entre as fontes de adubação fosfatada aplicadas na cultura do milho.

Para a safra 2018/2019 a aplicação do fosfato natural reativo em superfície comparado a testemunha, não apresentou diferenças significativas para a variável massa de mil grãos, as demais profundidades de adubação e as fontes de P, não diferiram estatisticamente entre si, porém apresentaram maiores médias em comparação a testemunha.

Em relação à safra 2019/2020 a massa de mil grãos, não houve diferenças significativas para as variáveis profundidades de adubação e fontes fosfatadas quando comparadas ao tratamento testemunha.

A produtividade final da cultura do milho, não apresentou diferenças significativas em comparação ao tratamento testemunha para ambas as safras avaliadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a maior necessidade de estudos com relação aos métodos de aplicação de diferentes fontes de adubação fosfatada em diferentes profundidades de adubação aplicadas na cultura do milho, podemos observar que a produtividade refletiu em respostas satisfatórias, resultados estes atreladas as características químicas do solo, ao efeito residual do fósforo no solo e as formas de manejo da área durante os anos.

O conhecimento em relação ao comportamento das frações de P no solo e sua absorção pelas culturas através de cultivos sucessivos possibilitam a redução de custos de produção agrícola.

Ressalta-se que há muito a se estudar em relação aos fosfatos naturais reativos e métodos de adubação, sob diferentes combinações experimentais, avaliados a longo prazo.

Recomenda-se que sejam realizadas pesquisas avaliando outras culturas através de diferentes manejos de adubação fosfatada e sua influência sob os componentes de rendimento.

Especula-se também que em solos considerados de alta fertilidade os quais são manejados de forma eficiente, a necessidade de adubação fosfatada de fontes protegidas pode não responder de forma significativa em relação aos parâmetros de rendimento.

A necessidade da realização de estudos com fontes de adubação fosfatada protegidas em solos que apresentam diferentes características em relação as propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais torna-se de extrema importância para avaliar a eficiência destas fontes de adubação fosfatada como forma de suprimento de P para outras culturas.

Os resultados observados no presente estudo evidenciam a necessidade de atenção por parte dos agricultores, que geralmente buscam a maiores produtividades, porém não levam em consideração a fertilidade química do solo da área e as fontes de adubação fosfatada com maior solubilidade ou melhor formulação em sua composição, pois nem sempre fontes de maior solubilidade, maior concentração de nutrientes ou maior valor comercial significa a maior lucratividade.

Ressalta-se, que os adubos fosfatos são recursos naturais não renováveis, assim, deve-se otimizar sua eficiência, aliado ao preço dos fertilizantes e o preço de comercialização do milho, sendo assim conhecer a fertilidade do solo proporciona maximizar a lucratividade no processo produtivo.

Do ponto de vista econômico em condições de solo com fertilidade considerada alta conforme a área em estudo torna-se inviável economicamente para o agricultor, a aplicação de fontes de fertilizantes fosfatados com características diferenciadas em sua formulação.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, P. F. **Intensidades de pastejo e níveis de cama de aviário em sistema de Integração Lavoura- Pecuária**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P. Manejo de plantas daninhas em milho safrinha em cultivo solteiro ou consorciado à braquiária ruziziensis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1226-1233, 2011.
- AFIF, E.; BARRON, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. *Soil Science*, v. 159, p. 207-211, 1995.
- ALCÂNTARA NETO, F.; GRAVINA, G. D. A.; SOUZA, N. O. S.; BEZERRA, A. A. D. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 2, p. 266-271, 2010.
- ALMEIDA, T.; POCOJESKI, E.; NESI, C. N.; OLIVEIRA, J. P. M.; SILVA, L. S. Eficiência de fertilizante fosfatado protegido na cultura do milho. **Revista Scientia Agraria**, v. 17, n.1, p. 29-35, 2016.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.
- ANDREA, M. C. S.; ROMANELLI, T. L.; MOLIN, J. P. Energy flows in lowland soybean production system in Brazil. **Ciência Rural**, v. 46, n. 8, p. 1395-1400, 2016.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. **Fósforo e adubos fosfatados**. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas, 2. Ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. 344p.
- ARAUJO, F. F. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 355-360, 2011.
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, A. R. L. de.; SILVA, L. X. da.; Costs management in maize and soybean production. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 20, n. 2, p. 273-294, 2018.
- 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**, v. 31, n. 1, p. 87-95, 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**, v. 26, n. 1, p. 151-156, 2002.
- BARROW, N. J. Soil phosphate chemistry and the P-sparing effect of previous phosphate applications. **Plant and Soil**, v. 397, n. 2, p. 401-409, 2015.
- BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; CRUZ, M. C. P.;

CENTURION, M.A. P. C.; SYLVESTRE, M. C.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 783-790, 2013.

BELLO, O. B.; MELLO, L. M. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Correlation and path coefficient analysis of yield and agronomic characters among open pollinated maize varieties and their hybrids in a diallel cross. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 18, p. 2633-2639, 2010.

BERNARDI, A. C. C.; JÚNIOR OLIVEIRA, J. P.; LEANDRO, W. J.; MESQUITA, T. G. S.; FREITAS, P. L.; CARVALHO, M. C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical* v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BEZERRA, M. A. F.; OLIVEIRA, F. A.; BEZERRA, F. T.C.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. A. Cultivation of cowpea in oxisols under the residual effect of phosphorus fertilization. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 109-115. 2014.

BIULCHI, P. V. **Resposta da cultura do milho a profundidade de deposição de adubo e de culturas de cobertura em solo de cerrado**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

BORGES, R. E.; MENEZES, J. F. S.; SIMON, G. A.; BENITES, V. Eficiência da adubação com organomineral na produtividade de soja e milho. **Global Science Technology**, v. 8, n. 1, p. 177-184, 2015.

BOTTEGAL, E. L.; BRAIDO, R.; PIAZZETTA, H. L.; NETO, A. M. O.; GUERRA, N. Efeitos da profundidade e velocidade de semeadura na implantação da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 19, n. 2, p. 74-78, 2014.

BRANDELERO, E. M.; ARAUJO, A. G.; RALISCH, R. Mobilização do solo e profundidade de semeadura por diferentes mecanismos para o manejo do sulco de semeadura em uma semeadora direta. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 2, p. 263-272, 2014.

BULL, L. T.; COSTA, M. C. G.; NOVELLO, A.; FERNANDES, D. M.; BÔAS, T. L. V. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agrícola**, v. 61, n. 5, p. 516-521, 2004.

CAI, H.; M. A. W.; ZHANG, X.; PING, J.; YAN, X.; LIU, J.; REN, J. Effect of subsoil tillage depth on nutrient accumulation, root distribution, and grain yield in spring maize, **Crop Journal**, v. 2, n. 5, p.297-307, 2014.

CAIONE, G.; FERNANDES, F. M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, n. 2, p. 189-196, 2013.

CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W. L.; RALISCHD, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F.; SANTOS, D. R. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 32-39, 2013.

CARNEIRO, J. S. da S.; GOMES, D. F. Á. J.; RIBEIRO F. R. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no Cerrado. **Scientia Agraria**,

v. 17, n. 3, p. 38 - 49, 2017.

CARNEIRO, L. F.; RESENDE, A. V. de; NETO, E. F.; SANTOS, J. Z. L.; CURI, N.; REIS, T. H. P.; VALLE, L. A. R. do. Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um latossolo com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 483-491, 2011.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, p. 590, 2012.

CASALI, C. A. **Sistemas de culturas sob diferentes manejos por longa duração alteram as formas de fósforo do solo**. Tese (Doutorado), Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal, de Santa Maria, Santa Maria, f. 149, 2012.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E. Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, p. 1001-1010, 2011.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Força de tração e mobilização do solo por hastes sulcadoras de semeadora-adubadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p.561-566, 2010.

CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; PAVINATTO, A. **Manejo da Adubação**. In NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L.; Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 1017, 2007.

CHAVES, D. P.; ZUCARELI, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 57-72, 2013.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; MIKKELSEN, R. Agronomic use of phosphate rock for direct application. **Better Crops with Plant Food**, v. 94, n. 4, p. 21-23, 2010.

CHUEIRI, W. **Sistema plantio direto e alternativas para adubação**. 2005. Disponível em: Acesso em: 10 out. 2021.

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

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, v. 2, n. 7, 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Milho**. 2019. Disponível em: Milho - Conab <https://www.conab.gov.br> > item > download. Acesso: 06 out. 2021

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, n. 12, p. 1231-1237, 2004.

COSTA, D. D. A. **Fracionamento do fósforo no solo em função dos sistemas de manejo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 41, 2019.

COSTA, S. E. V. G. D.; SOUZA, E. D. ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.;

ANDRIGUETTI, M. H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 5, n. 33, p. 1291-1301, 2009.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: estatística experimental e matrizes. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 285, 2013.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de; MATRANGOLO, W. J. R.; ALBUQUERQUE, M. R. Cultivo do milho. 6ª ed. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2010. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2).

CUNHA, F.J.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 1988 a 2010. **Informações Agronômicas**, n. 135, p. 1-7, 2011.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M.S.; ed. Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 327-354. 2006.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DUARTE, C. F. D.; PAIVA, L. M.; FERNANDES, H. J.; PROCHERAL, D. L.; CASSAROL, L. H. Capim-piatã adubado com fontes de fósforo de diferente solubilidade em água. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 1, p. 315-318, 2015.

DURÃES, F. O. M. Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas. 2007. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/limitemilho/index.htm>. Acesso em: 12 ag. 2021

DYONISIO, H. A, F. Erosão hídrica: Suscetibilidade do solo. **Revista Eletrônica Thesis**, v. 7 n. 13, p. 15-25, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, p. 356, 2018.

FANCELLI, A. L. **Ecofisiologia, fenologia, implicações básicas de manejo**. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. Milho do Plantio à colheita. Viçosa. p. 50-76, 2015.

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

FERNANDES, C. H. D. S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A.; influência da velocidade de semeadura no estabelecimento e produtividade do milho. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 3, p. 155-171, 2019.

FERREIRA JUNIOR, R. A. F.; SOUZA, J. L. TEODORO, I.; LYRA, G. B.; RENAN, C. D. S.; NETO, R. A. D. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 322-328, 2014.

FIGUEIREDO, C. C. de.; BARBOSA, D. V.; OLIVEIRA, S. A. De. Adubo fosfatado revestido com polímero e calagem na produção e parâmetros morfológicos de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 446-452, 2012.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; BAVARESCO, J.; BARRON, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil and Tillage Research**, n.155, p. 62-68, 2016.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; TIECHER, T.; BARRÓN V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n.4, p. 369-379, 2016.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1147-1155, 2008

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1907-1914, 2010.

FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M. do C.; FONTAVINA, S.; CZYCZA, R. V. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 686-694, 2010.

FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; CORASPE-LEÓN, H. M. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1092-1099, 2009.

FREITAS, E. C. S de.; PAIVA, H. N. DE.; LEITE, H. G. NETO, S. N. D. O. Crescimento e qualidade de mudas de *Cassia grandis* Linnaeus f. em resposta à adubação fosfatada e calagem. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 509-519, 2017.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.4, p. 1753-1761, 2008.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 691-699, 2007.

GAZOLA, R. D. N.; BUZETTI, S.; DINALLI, R. P.; FILHO, M. C. M. T.; CELESTINO, T. S. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, v. 60, n. 6, p. 876-884, 2013.

GOMES, F. P.; GARCIA, H. G. **Estatística aplicada a experimentos agrônomicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: Fealq, 2002.

GOMES, M. T.; SILVA, A. A. P.; MATIAS, J. P.; MACIEL, C. D. G.; KARPINSKI, R. A. K. Germinação de sementes de milho com e sem aplicação de acetato de zinco em diferentes profundidades de semeadura. **Campo Digital**, v. 11, n. 1, p.33-41, 2016.

GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.

9, p. 107-111, 1985.

GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES A.; REIS, G. N. Semeadora-Adubadora: Demanda energética em função do manejo da cobertura vegetal e da profundidade da haste de deposição de adubo em sistema plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 241-248, 2009.

GUARDINI, R.; COMIN, J. J.; SCHMITT, D. E.; TIECHER, T. L.; BENDER, M. A.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. Accumulation of phosphorus fractions in Typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 93, n. 2, p. 215-225, 2012.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e à lanço antecipado na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 769-774, 2008.

HANGER, 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: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

JAGADEESWARAN, R.; MURUGAPPAN, V.; GOVINDASWAMY, M. Effect of slow release NPK fertilizer sources on the nutrient use efficiency in turmeric (*Curcuma longa* L.). **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 1, n.1, p. 65-69, 2005.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 706-712, 2013.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p.334-343, 2011.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 3.; SIMPÓSIO SOBRE LEPTÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 2014, Salvador. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. **Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, p. 358-381, 2014.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C. M. A. De.; RAFULL, L. Z. L.; SOUZA, L. C. F. De.; REIS, E. F. Dos. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 725-731, 2007.

KOPPER, C. V.; MEERT, L.; KRENSKI, A.; BORGUI, W. A.; OLIVEIRA NETO, A. M.; FIGUEIREDO, A. S. T. Produtividade de milho segunda safra em função de diferentes velocidades de semeadura e densidade de plantas. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, p. 1-6, 2017.

LANA, M. C.; RAMPIM, L.; VARGAS, G. Adubação Fosfatada no Milho com

Fertilizante Organomineral em Latossolo Vermelho Eutroférico. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 26-36, 2014.

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

LEIRI, A. Y.; LANA, R. M. Q.; KORNODORFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na recuperação de pastagem com brachiaria. **Ciência Agrotécnica**, v. 34, n. 5, p. 1154-1160, 2010.

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

LEITE, R. D. C.; CARNEIRO, J. S. D. S.; FREITAS, G. A. De.; CASALI, M. E.; SILVA, R. R. Da. Adubação fosfatada na soja durante três safras consecutivas na nova fronteira agrícola brasileira. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 28-35, 2017.

LEVIEN, R.; FURLANNI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; CONTE, O.; CAVIOCHIOLI, F. A. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p.1003-1010, 2011.

LOPES, J. S.; LÚCIO, A. D.; STORCK, I.; DAMO, H. P.; BRUM, E.; SANTOS, V. J. D. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, 2007.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; CERINI, J. B.; FERREIRA, P. A. A.; LORENSINI, F.; GIROTTO E.; TIECHER T. L.; SCHAPANSKI D. E.; BRUNETTO, G. Available content, surface runoff and leaching of phosphorus forms in a typic Hapludalf treated with organic and mineral nutrient sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.2, p. 544-556, 2014.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; LORENSINI, F.; CANCIAN, A.; STEFANELLO, L.; GIROTTO, E.; VIEIRA, R. C.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Forms of phosphorus transfer in runoff under no-tillage in a soil treated with successive swine effluents applications. **Environ Monit Assess**, v. 37, n. 1, p. 187-209, 2015.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E De.; ANDRADE, B. B. De.; LANA, R. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 70-76. 2012.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção**. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. A cultura do milho. Embrapa, Informação Tecnológica, v. 1, p. 63-87, 2008.

MANTOVANI, E. C.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, A. C. Avaliação em campo de uma semeadora-adubadora para semeadura de milho de alta densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 38-48, 2015.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Milho para o Estado do Paraná, ano safra 2019/20**. Secretária de Política agrícola, 2020.

- MARIN, R. D. S. F.; BAHRY, C. A.; NARDINO, M.; ZIMMER, P. D. Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. **Revista Ceres**, v. 62, n.3, p. 265-274, 2015.
- MCDOWELL, R. W.; LITTLEJOHN R. P.; BLENNERHASSETT, J. D. Phosphorus fertilizer form affects phosphorus loss to waterways: A paired catchment study. **Soil & Tillage Research**, v. 26, n. 3, p.365–373, 2010.
- MCLAREN, T. I.; GUPPY, C. N.; TIGHE, M. K.; MOODY, P.; BELL, M. Dilute acid extraction is a useful indicator of the supply of slowly available phosphorus in vertisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 1, n. 78, p. 139-146, 2014.
- MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B. **Micro-organismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 26 p.
- MESQUINI, R. M.; MATTOS, A. P.; RISSATO, B. B.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Temporal progress of maize diseases. **Summa Phytopathologica**, v.46, n.2, p.140-144, 2020.
- MICHELOTTO, M. D.; FINOTO, E. L.; MARTINS, A. L. M. Interação entre transgênicos e inseticidas no controle de pragas-chave em híbridos de milho-safrinha. **Arquivos Instituto de Biologia**, v. 78, n. 1, p. 71-79, 2011.
- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1459-1466, 2002.
- MOREIRA, A.; MOTTA, A. C. V.; COSTA, A.; MUNIZ, A. S.; CASSOL, L. C.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; BATISTA, M. A.; MÜLLER, M. M. L.; HAGER, N.; PAULETTI, V. (Ed.). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Curitiba, p. 482, 2017.
- MOTA, J. H.; PORTUGAL FILHO, C. C. Características agrônômicas e produtividade de milho safrinha em função de fontes e doses de nitrogênio. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 47-52, 2016.
- MUNIRA, S.; FARENHORST, A.; AKINREMI, W. Phosphate and glyphosate sorption in soils following long-term phosphate applications. **Geoderma**, v. 313, p. 146-153, 2018.
- NOVAIS, R. F. T.; SMYTH, J.; NUNES, F. N. **Fósforo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; LIMA, J. C. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 472-537, 2007.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- NUNES, R. D. S.; SOUZA, D. M. G. De.; 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**, v. 35, n. 335. 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**, v. 43, n. 5, p. 623-631, 2008.

OLIVEIRA, P. S. R.; DEMINICIS, B. B.; CASTAGNARA, D. D.; GOMES, F. C. N. Efeito da adubação com fósforo do capim Mombaça em solos com texturas arenosa e argilosa. **Archivos de zootecnia**, v. 61, n. 235, p. 398-406, 2012.

OLIVEIRA, R. I.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; ZAIA, F. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Organic phosphorus in diagnostic surface horizons of different Brazilian soil orders. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1411-1420, 2014.

OLIVEIRA, T. C. De; SILVA, J.; SANTOS, M. M. D. Desempenho agrônômico de cultivares de feijão em função da adubação fosfatada no sul do estado do Tocantins. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 10, 2014.

ONO, F. B.; MONTAGNA, J.; NOVELINO, J. O.; SERAFIM, M. E.; DALLASTA, D. C.; GARBIATE, M. V. Eficiência agrônômica de superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciência Agrotecnica**, v. 33, n. 3, p. 727-734, 2009.

PASSOS, F. D. A.; NUNES, J.; BOIAGO, N. P.; ZANATTA, F. S.; CORREA JUNIOR, E. O.; ARAÚJO, L. R. V.; SILVEIRA, H. T. N.; LIMA, G. B. Produtividade do milho em diferentes populações de plantio. **Society of America Journal**, Edição Especial, p. 1-11, 2019.

PAULETTI, MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2 ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná Sociedade Brasileira de Ciência de Solo – NEPAR-SBCS, 2019.

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

PAZIANI, S. De F.; DUARTE, A. P.; NUSSIO, L. G. Características agrônômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 411-417, 2009.

PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar: 30 Anos de Experiência**. 1ª Ed. Piracicaba: Ceres, 2013. 347p.

PIONEER SEMENTES. **Ficha do produto: 30F53VYH**. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/milho/central-de-produtos/produtos/30f53vyh>. Acessado em: 30 mar. 2021.

PRADO, G. R.; SILVA, L. S. De.; PROCHONOW, L. I.; GRIBELER, G.; POCOJESKI, E.; MORO, V. J. Comportamento de Superfosfato simples contendo fosfato de ferro de baixa solubilidade em água em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 907-916, 2011.

PRADO, R. M.; TORRES, J. L.; ROQUE, C. G.; COAN, O. Sementes de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: influência no índice de velocidade de emergência. **Scientia Agraria**, v. 2, n. 1, p. 45-49, 2001.

RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, p. 1-9, 1978.

- RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.; BOLDRIN, P. B. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 335-343, 2009.
- RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; GATIBONI, L. C.; RHODEN, A. C. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 21-28, 2007.
- REDEL, Y.D.; RUBIO, R.; ROUANET, J.L.; BORIE, F. Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol. **Geoderma**, v. 139, p. 388-396, 2007.
- REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.
- REIS, E. F.; MOURA, J. R.; DELMOND, J. G.; CUNHA, J. P. A. R. Características operacionais de una sembradora-fertilizadora de siembra directa en el cultivo de la soya (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 16, n. 3, p. 70-75, 2007.
- RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; 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**, v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 345-354, 2000.
- RINALDI, P. C. N.; ZAMPIROLI, R.; ALVARENGA, C. B.; GALLIS, R. B. A.; FERNANDES, H. C. Métodos de avaliação da distribuição longitudinal de plântulas no estabelecimento inicial da cultura do milho. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 157-162, 2021.
- RODRIGUES, M.; P. S.; PAVINATTO, P. J. A.; WITHERS, A. P. B.; TELES, W. F.B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of The Total Environment**, v. 542, Part B, p. 1050-1061, 2016.
- SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n.2, p. 195-212, 2018.
- SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, M. E. L.; ARAUJO, J. L. S.; ALVES, J. D. N.; MARIANO, D. C.; OKUMURA, R. S. Adubação fosfatada na cultura do milho no nordeste paraense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 4, p. 441-448, 2017.
- SANTOS, A. L. F.; MECCHI, I. A.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 4, p. 52-60, 2018.
- SANTOS, D. M.; CONCEIÇÃO, O. P. C. Métodos de extração de fósforo. **Getec**, v. 7, n. 19, p. 31-39, 2018.

- SANTOS, A. C. M. dos.; CARNEIRO, J. S. DA. S.; LEITE, R. D. C.; SOUZA, S. D.; FREITAS, G. A. D.; SILVA, R. R. Adubação fosfatada com fertilizante Basiduo® na cultura da soja no Oeste da Bahia. **Journal of bioenergy and food science**, v. 2, n. 3, p. 82-90, 2015.
- SANTOS, D. R. D.; 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**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.
- SANTOS, J. Z. L.; FURTINI, A. E.; RESENDE, A. V. de.; CURTI, N. CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 705-714, 2008.
- SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n.4, p.611-617. 2000.
- SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 5, n. 32, p. 2037-2049, 2008.
- SCHONINGER, E. L.; ATIBONI, L. C.; ERNANI, P. R. Fertilização com fosfato natural e cinética de absorção de fósforo de soja e plantas de cobertura do cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 95-106, 2013
- SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.
- SICHOCKI, D.; GOTT, R. M.; FUGA, C. A. G.; AQUINO, L. A.; RUAS, R. A. A.; NUNES, P.H.M.P. Resposta do milho safrinha à doses de nitrogênio e de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 48-58, 2014.
- SILVA, P. R. A.; DIAS, P. P.; CORREIA, T. P. S.; SOUSA, S. F. G. Emergência de plântulas de milho em diferentes profundidades de semeadura. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 178-185, 2015.
- SILVA, R. R.; LEITE, R. C.; FREITAS, G. A. SILVA, P. S. S.; CARNEIRO, J. S. S. Eficiência de fertilizante fosfatado na cultura da soja no cerrado baiano. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 4, p. 13-22, 2015.
- SILVA, M. R.; MARTIN, T. N.; BERTONCELLI, P.; ORTIZ, S.; SCHMITZ, T. H.; VONZ, D. S. Caracterização agronômica de genótipos de milho para a produção de silagem. **Archivos de Zootecnia**, v. 63. n. 242, p. 385-388. 2014.
- SILVA, V. F. A. **Mobilização do solo e desempenho operacional de semeadora adubadora com dois tipos de hastes sulcadoras em plantio direto de milho.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.
- SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 240-250, 2012.
- SILVA, M. A. V.; FERREIRA, W. P. M.; ANDRADE, V. M. S.; ARAUJO, S. G. A. Época

de semeadura do milho para a região de Sete Lagoas, MG, baseada na probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos. **Revista Ceres**, v. 57, n. 4, p. 454-458, 2010.

SILVEIRA, M. M. L. **Fracionamento seqüencial de fósforo em solos do semi-árido nordestino**. 2000. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2000.

SIQUEIRA, R. **Milho: semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade**. In: IAPAR, XX-VII. CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. Londrina, 2008.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Potafos**, Piracicaba, p. 16, 2003. ENCARTE DO INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS Nº 102. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/78429ADDBF7C6D5183257AA2005C6827/\\$FILE/ENCARTE102.PDF](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/78429ADDBF7C6D5183257AA2005C6827/$FILE/ENCARTE102.PDF). Acesso em: 05 maio 2021.

SOUZA, D. R.; VILAR, C. C.; USHIWATA, S. Y.; REIS, R. D. G. E.; RIBEIRO, K. C. Resposta da cultura do milho, em segunda safra, à adubação fosfatada em Latossolo Amarelo no cerrado. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 14-24, 2018.

SOUZA, R. M. de.; SOBRAL, L. F.; VIEGAS, R. A.; JUNIOR, R. A.; CARVALHO, M. da C. S.; Eficiência agronômica de fosfatos de rocha em solo com elevado teor de cálcio trocável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1816-1825, 2014.

STORCK, L.; MODOLO, A. J.; BRUM, B.; TROGELLO, E.; FRANCHIN, M. F.; ADAMI, P. F. Medida de regularidade do espaçamento de plantas de milho em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 39-44, 2015.

TAKASU, A. T.; HAGA, K. I.; RODRIGUES, R. A. F. Produtividade da Cultura do Milho em Resposta à Adubação Potássica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 154-161, 2014.

TEIXEIRA, H. R. S.; LIMA, E. De A.; MIELEZRSKI, F. Efeito da profundidade de adubação e semeadura na cultura do milho. **Revista de Ciências Agronômicas**, v. 27, n. 1, p. 91-100, 2018.

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

TELES, A. P.; M. RODRIGUES, B. W. HERRERA, A. SOLTANGHEISI, L. SARTOR, P. J. A. WITHERS, AND P. S. PAVINATO. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers. **Soil Use Manage**. v. 33, n. 1, p. 34-44, 2017.

THEISEN, G.; BIANCHI, M. A. Semeadura com pouco revolvimento de solo como auxílio no manejo de plantas daninhas em milho. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 93-102, 2010.

TIECHER, T. D. R.; SANTOS, J.; KAMINSKI, A. C. Forms of inorganic phosphorus in

soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, n. 36, p. 271-281, 2012.

TOKURA, A. M.; N. A. E. F.; CUTI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 37, n. 10, p. 1467-1476, 2002.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; KRUSE, N. D.; PRATES, M. V. B.; GUSTMAN, M. S.; NUNES, A. L.; ARGENTA, G. Manejo químico de plantas daninhas na cultura do milho em função de características morfofisiológicas e redução de espaçamento da cultura. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 845-853, 2008.

TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; SCARSI, M.; DALLACORT, R. Manejos de cobertura, mecanismos sulcadores e velocidades de operação sobre a semeadura direta da cultura do milho. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p.101-109, 2013.

VALADÃO, F. C. A.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SCAPINELLI, A.; FILIPE RAFAELI DEINA, F. R.; BIANHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 243-255, 2015.

VALE, W. G.; GARCIA, R. F.; THIEBAUT, J. T. L.; GRAVINA, G. A. Caracterização estatística de variáveis usadas para ensaiar uma semeadora-adubadora em semeadura direta e convencional. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 559-567, 2009.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 763-774, 2004.

WEIRICH NETO, P. H.; SCHIMANDEIRO, A.; GIMENEZ, L. M.; COLET, M. J.; GARBUIO, P. W. Profundidade de deposição de semente de milho na região dos campos gerais, Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 782-786, 2007.

WITHERS, P. J. A.; K.C.; VAN DIJK, T. S. S.; NESET, T.; NESME, O.; OENEMA, G. H. Stewardship to tackle global phosphorus inefficiency: **The case of Europe**, v. 2, n. 44, p. 193-206, 2015.

ZAMUNER, E.C.; PICONE, L.I.; ECHEVERRIA, H.E. Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices. **Soil and Tillage Research**, v.99, p.131-138, 2008.

ZHOU, T.; DU, Y.; AHMED, S.; LIU, T.; REN, M.; LIU, W.; YANG, W. Genotypic differences in phosphorus efficiency and the performance of physiological characteristics in response to low phosphorus stress of soybean in Southwest of China. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1776, 2016.