

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

TESE

**ADIÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS EM FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS
VISANDO AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO**

Rodrigo Braghioli

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

ADIÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS EM FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS
VISANDO AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

RODRIGO BRAGHIROLI

Sob Orientação do Professor
ADELSON PAULO DE ARAÚJO

e Co-orientação do professor
VINICIUS DE MELO BENITES

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Fitotecnia**, no curso de Pós-Graduação em Fitotecnia. Área de Concentração em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ
Setembro de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

RODRIGO BRAGHIROLI

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no
Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/09/2014

Adelson Paulo de Araújo (Dr.) UFRRJ
(Orientador)

José Carlos Polidoro (Dr.) (Embrapa Solos)

Frederico Antonio Loureiro Soares (Dr.) (IFGoiano)

José Milton Alves (Dr.) (IFGoiano)

Everaldo Zonta (Dr.) (UFRRJ)

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

B813a Braghiroli, Rodrigo, 1975-
ADIÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS EM FERTILIZANTES
ORGANOMINERAIS. VISANDO AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE
FÓSFORO / Rodrigo Braghiroli. - 2014.
84 f.

Orientador: Adelson Paulo de Araújo.
Coorientador: Vinicius de Melo Benites.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Fitotecnia, 2014.

1. Fertilizantes Fosfatados . 2. Fósforo Acumulado.
3. Fosfato de Bayóvar. 4. Fertilizante Organomineral.
5. Ácidos Orgânicos. I. Paulo de Araújo, Adelson ,
1963-, orient. II. de Melo Benites, Vinicius, 1978-,
coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Fitotecnia. IV. Título.

À minha amada esposa Ludimila e aos meus filhos, Taison e Pedro,
que souberam suportar com paciência e tolerância
minha ausência durante este trabalho.

DEDICO

Aos meus pais Francisco Roberto e Ana Tereza
que foram incansáveis na busca pela educação
dos filhos e aos meus irmãos Ricardo e Rafael
pelo apoio nas horas difíceis.

OFEREÇO

EPÍGRAFE

Só existe uma maneira de evitar as críticas:
não fazer nada, não dizer nada e não ser nada!

Aristóteles

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua força, que fez com que eu amadurecesse neste trabalho.

Aos professores Jorge Jacob Neto e Fabiano Guimarães Silva e todos os professores que contribuíram, pela iniciativa desafiadora de elaborar um programa de incentivo e apoio aos docentes do IFGoiano.

Ao Prof. Dr. Adelson Paulo de Araújo, pela orientação, paciência, estímulo e atenção durante as etapas desenvolvidas e amizade construída.

A todos, digo, todos mesmo os funcionários e professores do IFGoiano – Campus Rio Verde, pelo apoio incondicional ao desenvolvimento deste projeto. Em especial, Marconi, Frederico Loureiro, José Milton, Edson Souchie, Alan, Kátia Costa e os grandes alunos Cláudio (bigodin) e Cleiton, do curso de agronomia, que me ajudaram muito nos momentos mais difíceis. Muito obrigado!

A todos os funcionários da Universidade Rio Verde que, de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho. Em especial, Helemi, Débora, José Mario, Daniel Tizo, Carmem Bonini, José Carlos. Muito obrigado!

Aos meus amigos e colegas de Dinter, Celso, Hipólito, Sebastião Vasconcelos, Sebastião Nunes, Maria do Socorro, Aurélio, Renato e Bruno Saleh, que sempre estiveram presentes nos momentos bons e ruins, e que sempre me apoiaram.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa concedida.

Ao CPGF, Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia do Instituto de Agronomia, pela oportunidade a mim concedida.

À UFRuralRJ, pelo valioso conhecimento concedido dentro do campo da Agronomia.

Aos funcionários da “Fitotecnia”, pela amizade e colaborações no decorrer dos experimentos.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa fase, participando direta ou indiretamente na realização dos trabalhos ou simplesmente dividindo momentos fora do ambiente de trabalho.

BIOGRAFIA

Rodrigo Braghiroli nasceu na fazenda Shangri-lá, município de Guaíra - SP, em 16 de setembro de 1975. Estudou durante o ensino fundamental na escola Francisco Gomes de Souza e o “colegial” na escola Enoch Garcia Leal, na cidade de Guaíra. Ingressou na Universidade Federal de Uberlândia no ano de 1995 no curso de Química, concluído no ano de 2000. Neste ano foi contratado pela empresa Rima Metalúrgica, município de Bocaiúva – MG, onde exerceu a função de supervisor de laboratório e controle de qualidade, retornando a Uberlândia no ano de 2001, para assumir o cargo de professor efetivo da rede estadual de ensino, onde permaneceu até 2003. Neste ano ingressou como aluno do curso de Pós-Graduação em Química na Universidade Federal de Uberlândia, onde trabalhou com a produção de filmes poliméricos com incorporação de nanocristais, dissertação defendida em 2005, quando ingressou como professor substituto no Instituto de Química da UFU. Em 2007 foi aprovado em concurso público para professor efetivo de Química da Universidade de Rio Verde – GO, onde permanece até o momento. Em 2009 foi aprovado em concurso público para professor efetivo de Química Orgânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFET), posteriormente IFGoiano. No ano de 2010, foi aprovado como aluno do programa Dinter em Fitotecnia na UFRRJ.

RESUMO GERAL

BRAGHIROLI, Rodrigo. **Adição de ácidos orgânicos em fertilizantes organominerais visando aumentar a disponibilidade de fósforo**. Seropédica: UFRRJ, 2014. 79 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Os fertilizantes organominerais (FOM) constituem uma alternativa para substituição das fontes fosfatadas industriais altamente solúveis, através da utilização de fosfatos naturais e das fontes orgânicas, que em sua decomposição produzem ácidos orgânicos que atuam como bloqueadores dos sítios de adsorção de fosfatos nos solos, bem como condicionadores para a solubilização de fosfatos de rocha. Este trabalho teve como objetivo avaliar fertilizantes organominerais enriquecidos com ácidos orgânicos de baixo peso molecular a fim de aumentar a disponibilidade de fósforo ao longo do ciclo produtivo. Na primeira etapa, foi avaliado o efeito da adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (AOBPM) na disponibilidade de P em formulações de FOM no cultivo de milho em casa de vegetação, em Latossolo Vermelho distroférico. Os tratamentos compreenderam duas fontes orgânicas (cama de aviário in natura ou compostada), três fontes de P (monoamôniofosfato – MAP, fosfato natural reativo de Bayóvar - FB e fosfato natural de Arraias - FA) e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico - AC, ácido málico - AM e ácido oxálico - AO), com cinco repetições, em quatro plantios consecutivos de milho. A fonte orgânica in natura proporcionou maior acúmulo de matéria seca na primeira coleta. Nas coletas posteriores, os maiores valores foram observados com a cama de aviário compostada. A adição de AOBPM não apresentou efeitos na disponibilização de P quando incorporado ao FOM. O MAP propiciou os maiores acúmulos de matéria seca e de P na parte aérea. Na segunda etapa, foi avaliado o efeito de FOM enriquecidos com ácido cítrico no crescimento, acumulação de P e produtividade de plantas de milho em casa de vegetação e em campo, em Latossolo Vermelho distroférico. Os tratamentos compreenderam AC, cama de aviário in natura e duas fontes de P (superfosfato triplo - SFT e FB), totalizando 6 combinações (FB, cama + FB, cama + FB + AC, SFT, cama + SFT, cama + SFT + AC) e três doses de P_2O_5 (40, 80, 120 kg ha⁻¹), mais duas testemunhas, uma sem P e outra sem nenhum nutriente, com 4 repetições. A adição de cama de aviário a uma fonte de P natural ou industrializada aumentou o acúmulo de matéria seca e de P em plantas de milho em casa de vegetação. O FOM produzido com SFT proporcionou valores maiores de matéria seca de parte aérea e raiz, e P acumulado na parte aérea, sem efeito da adição de AC. O AC adicionado ao FOM produzido com FB aumentou a acumulação de P na raiz de milho em casa de vegetação. A adição de cama de aviário em ambas as fontes de P aumentou a matéria seca e P acumulado na parte aérea do milho cultivado em campo, quando comparados à fonte de P pura. A adição de AC aumentou a matéria seca aos 35 dias de cultivo, para os fertilizantes produzidos com FB. O milho cultivado com FOM produzido com FB apresentou produtividade de grãos similar ao SFT puro. Conclui-se que a cama de aviário in natura favorece o desenvolvimento inicial das plantas de milho e a adição de ácidos não produz efeitos significativos no acúmulo de fósforo, com excessão das plantas de milho cultivadas em casa de vegetação, porém este fato ocorre concomitantemente à adição de cama de aviário in natura incorporada ao fosfato natural reativo de Bayóvar que demonstrou ser uma alternativa viável de utilização de fosfato de rocha em substituição aos fosfatos industrializados, pois a produção de milho no experimento de campo apresentou resultados estatisticamente iguais ao milho produzido com fonte de fósforo industrial.

Palavras-Chave: Fertilizante organomineral; Ácidos orgânicos; Fertilizantes fosfatados; Fósforo acumulado.

ABSTRACT

BRAGHIROLI, Rodrigo. **Addition of organic acids in organo-mineral fertilizers to increase the availability of phosphorus**. Seropédica: UFRRJ, 2014. 79 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The organomineral fertilizer (FOM) is an alternative to replacing the industrial highly soluble phosphorus sources, through the use of natural phosphates and organic sources, which decomposition may produce organic acids that act as blockers of phosphate adsorption sites in soils, and conditioners for solubilization of phosphate rock. This work aimed to evaluate organic-mineral fertilizers enriched with organic acids of low molecular weight in order to increase the availability of phosphate throughout the plant production cycle. In the first stage, the effect of addition of organic acids of low molecular weight (AOBPM) on P availability in the formulation of FOM was evaluated in millet grown in greenhouse in Oxisol. The treatments consisted of two organic fertilizers (poultry litter fresh or composted), three sources of phosphorus (mono ammonium phosphate - MAP, reactive phosphate Bayóvar - FB and natural phosphate Arraias - FA) and four organic acids (acid-free, citric acid - CA, malic acid - MA and oxalic acid - OA), with five replicates in four consecutive crops of millet. The organic source in natura provided higher dry matter accumulation in the first plant harvest. In later harvests, the highest values were observed with the double-composted poultry. Adding AOBPM had no effect on P availability when incorporated into the FOM. The MAP provided the highest accumulation of dry matter and P in shoots. In the second step, the effect of FOM enriched with citric acid on growth, yield and P accumulation was evaluated in maize plants grown in greenhouse and in the field in Oxisol. The treatments consisted of AC, poultry litter in natura and two P sources (triple superphosphate - SFT and FB), totaling six combinations (FB, FB + bed, bed + AC + FB, SFT, SFT + poultry litter, poultry litter + SFT + AC) and three doses (40, 80, 120 kg ha⁻¹), besides two controls, one without P and other with no nutrient, with 4 replicates. The addition of manure to a source of natural or industrialized P increased the accumulation of dry matter and P in corn plants in greenhouse. The FOM produced with SFT resulted in higher dry matter of shoot and root, and P uptake in shoot, without effect of the addition of AC. The AC added to the FOM produced with FB increased the accumulation of P in the root of corn in the greenhouse. The addition of manure at both P sources increased dry matter and P uptake in shoot of maize grown in the field, compared to the pure P source. The addition of AC increased the dry matter at 35 days of sowing, for fertilizers produced with FB. Maize grown with FOM produced with FB showed similar grain yield to pure SFT. It is concluded that the poultry litter in nature favors the early development of plants in pots and the addition of acid does not produce significant effects on phosphorus accumulation, with the exception of maize plants grown in a greenhouse, but this fact occurs concurrently with adding bed avian in natura built into the natural reactive phosphate Bayovar that proved to be a viable alternative to the use of rock phosphate to replace industrial phosphates, since the production of corn in the field experiment showed statistically similar results to that produced maize industrial source of phosphorus.

Keywords: Organic mineral fertilizer; Organic acids; Phosphate fertilizers; Accumulated phosphorus.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Da esquerda para a direita temos: ácido málico, ácido cítrico e ácido oxálico. 9
- Figura 2. P acumulado na parte aérea e matéria seca de parte aérea em quatro coletas consecutivas de milho cultivado com fertilizante organomineral produzido com cama de aviário in natura (gráficos 2.1 e 2.2) e compostada (gráficos 2.3 e 2.4) como fonte orgânica e MAP como fonte de P, enriquecidos com ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico, málico e oxálico). 24
- Figura 3. Localização dentro de cada parcela das plantas coletadas 35
- Figura 4. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico, em quatro doses de P_2O_5 (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). 39
- Figura 5. Fósforo acumulado na parte aérea de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. 40
- Figura 6. Matéria seca de raiz de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. 41
- Figura 7. Fósforo acumulado em raízes de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. 42
- Figura 8. P acumulado total (P aérea + P raiz + P sabugo + P grão), para milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. 48
- Figura 9. P acumulado na parte aérea de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. 48
- Figura 10. P acumulado na raiz de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. 49
- Figura 11. P acumulado no grão de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha⁻¹. 49
- Figura 12. P acumulado no sabugo de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou

supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$.
..... 50

Figura 13. Produtividade de grãos de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertriplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$.
..... 50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Teores de P ₂ O ₅ total após produção do fertilizante organo-mineral.	16
Tabela 2. Resultado de análise química e física do solo utilizado no experimento em casa de vegetação antes da calagem.	17
Tabela 3. Massa dos fertilizantes organominerais definidas para cada tratamento em experimento de casa de vegetação.....	17
Tabela 4. Composição da solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950).....	17
Tabela 5. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayóvar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico); médias dos fatores isolados.	20
Tabela 6. Quantidade de P acumulado dentro de cada cultivo de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayovar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico); médias dos fatores isolados.	20
Tabela 7. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, para o desdobramento da interação de cada fonte de P X fonte orgânica.	21
Tabela 8. Acumulação de P na parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, para o desdobramento de cada fonte de P dentro de cada fonte orgânica, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada) e três fontes de P (Bayovar, Arraias e MAP); médias de quatro ácidos orgânicos adicionados às formulações.....	21
Tabela 9. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayovar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico).	22
Tabela 10. Acúmulo de P na parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayovar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico).	23
Tabela 11. Composição química das fontes utilizadas para produção dos fertilizantes.	30
Tabela 12. Teores de fósforo total presentes em cada fonte de fósforo utilizada para a montagem dos experimentos de campo e em casa de vegetação.	31
Tabela 13. Análise do solo de cada bloco, antes da implantação do experimento em campo e, em casa de vegetação.....	32
Tabela 14. Quantidade de N, P e K utilizados em cada vaso no experimento em casa de vegetação.....	33
Tabela 15. Valores de N, P e K utilizados em cada linha de cada tratamento em experimento de campo.	34
Tabela 16. Matéria seca de parte aérea e de raiz, e P acumulado na parte aérea, raiz e na planta toda, de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar	

ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	37
Tabela 17. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	43
Tabela 18. P acumulado na parte aérea de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	43
Tabela 19. Matéria seca de raiz de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	44
Tabela 20. P acumulado na raiz de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico; médias de três doses de P (40, 80 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	45
Tabela 21. Matéria seca de sabugo, massa de grão por espiga, P acumulado no sabugo e no grão e P acumulado total de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 105 dias da emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	45
Tabela 22. Número de espigas coletadas por tratamento para cálculo do rendimento, massa de 1000 grãos, P exportado no grão, número de plantas por hectare e produtividade para milho cultivado em campo, coletadas após 105 dias da emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico; médias de três doses de P (40, 80 e 120 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅).....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Fósforo no solo	4
2.2 Fontes minerais de fósforo	4
2.3 Fósforo orgânico no solo	5
2.4 Matéria orgânica do solo	7
2.5 Fertilizantes organominerais.....	7
2.6 Ácidos orgânicos de baixo peso molecular	9
3 CAPÍTULO I	11
EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM FORMULAÇÕES DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO CULTIVO DE MILHETO	11
3.1 Resumo.....	12
3.2 Abstract.....	13
3.3 Introdução.....	14
3.4 Materiais e Métodos.....	15
3.4.1 Delineamento experimental	15
3.4.2 Preparação do fertilizante	15
3.4.3 Implantação do experimento.....	16
3.4.4 Variáveis analisadas	Erro! Indicador não definido.
3.4.5 Análises estatísticas.....	18
3.5 Resultados e Discussão	18
3.6 Conclusão	24
4 CAPÍTULO II	26
EFEITO DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS ENRIQUECIDOS COM ÁCIDO CÍTRICO NO CRESCIMENTO, ACUMULAÇÃO DE FÓSFORO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE MILHO EM CASA DE VEGETAÇÃO E EM CAMPO	26
4.1 Resumo.....	27
4.2 Abstract.....	28
4.3 Introdução.....	29
4.4 Material e Métodos	30
4.4.1 Preparação dos fertilizantes	30
4.4.2 Experimento em casa de vegetação.....	32
4.4.2.1 Delineamento experimental	32
4.4.2.2. Implantação do experimento.....	32
4.4.3 Experimento de campo.....	33
4.4.3.1 Delineamento experimental	33
4.4.3.2 Implantação do experimento.....	34
4.4.3.3 Coleta de material vegetal.....	35
Análises estatísticas	36
4.5 Resultados e Discussão	36
4.5.1 Experimento em casa de vegetação.....	36
4.5.2 Experimento de Campo	42
4.6 Conclusão	51

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICES	61
APÊNDICE A.....	62
APÊNDICE B.....	62
APÊNDICE C.....	65

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o 4º maior consumidor mundial de nutrientes para a formulação de fertilizantes, representando cerca de 5,7% do consumo mundial, ficando atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos. Em 2014 foi consumido 16.241 milhões de toneladas de fertilizantes no período de janeiro a julho de 2014, o que representou um aumento de 7,2% em relação ao mesmo período de 2013, sendo que os fertilizantes fosfatados registraram aumento de 3,6% no consumo e 6,7% nas importações (ANDA, 2014). No entanto, a aplicação de fertilizantes nas lavouras, por unidade de área cultivada, ainda é baixa em relação aos países com agricultura desenvolvida. A velocidade de crescimento da demanda brasileira por fertilizantes tem superado a taxa de crescimento mundial, mas o seu atendimento tem ocorrido via aumento das importações, dado que a indústria nacional não consegue suprir a demanda. Isto aumenta a vulnerabilidade do Brasil em relação às variações dos preços no mercado internacional, das taxas de câmbio, dos fretes e dos problemas logísticos dos portos brasileiros.

Do ponto de vista químico, os fertilizantes podem ser orgânicos, minerais ou organominerais. Os fertilizantes orgânicos são os de origem vegetal ou animal que trazem em suas constituições nutrientes em baixas concentrações, são aplicados em grandes quantidades, desempenhando mais as funções de condicionadores do solo do que as de fertilizantes propriamente ditos (ALCARDE et al., 1998).

Uma fonte orgânica que se destaca é a cama de aviário, pois a produção brasileira de frangos de corte foi de 12,48 milhões de toneladas em 2012, gerando cerca de 8,42 milhões de toneladas de resíduos (CONAB, 2014), que podem ser aproveitados na agricultura como fertilizante. A cama de frango foi amplamente utilizada na adubação de pastagem e alimentação animal, porém foi proibida por apresentar problemas, como a indução da encefalopatia espongiiforme bovina (BRASIL, 2008). Alternativas para a disposição da cama de frango são desejáveis, como a sua valorização através de bioprocessos, visto que sua utilização in natura como fertilizante pode causar poluição ambiental e contaminação de águas. A compostagem, gerando um adubo orgânico denominado de composto ou fertilizante orgânico, é uma alternativa para o uso consciente deste resíduo, bem como seu enriquecimento com fontes inorgânicas ou orgânicas sintéticas de nutrientes e sua aplicação de forma correta como fertilizante.

Os fertilizantes minerais são aqueles constituídos por compostos inorgânicos e por compostos orgânicos sintéticos, como a uréia, por exemplo (ALCARDE et al., 1998). Os fertilizantes simples mais comuns, contendo um único macronutriente, são a uréia, o nitrato de amônio, nitrato de sódio, superfosfato simples, superfosfato triplo, termofosfato magnésiano, cloreto de potássio, e com dois macronutrientes, o sulfato de amônio, fosfato monoamônico, sulfato de potássio, nitrato de potássio, e fosfato diamônico.

Os fertilizantes organominerais são resultantes da mistura de fertilizantes orgânicos e minerais industrializados ou minerais, cujo objetivo é enriquecer os materiais orgânicos de nutrientes minerais (ALCARDE et al., 1998). O fertilizante organomineral apresenta um custo relativamente inferior ao fertilizante mineral, porém, seu potencial químico reativo é menor, mas sua solubilização é gradativa no decorrer do período de desenvolvimento da cultura, quando a eficiência agrônômica pode se tornar maior (KIEHL, 2013).

Fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazimentos localizados. A denominação fosfato natural ou rocha fosfática cobre uma ampla variação nesses tipos de minérios, em composição, em textura e em origem geológica, mas apresentam pelo menos uma característica em comum, pois são constituídos por minerais do grupo das apatitas (KAMINSKI & PERUZZO, 1997). A reatividade desses fosfatos naturais é bastante distinta: muitos são praticamente inertes quando usados como

fonte de P para as plantas, como a maioria dos fosfatos de origem geológica ígnea e metamórfica, mas outros têm mostrado resultados animadores, como o caso da maioria dos fosfatos de origem sedimentar (GOEDERT et al., 1986; KAMINSKI, 1983).

A limitação nutricional mais generalizada ao desenvolvimento de culturas em solos das regiões tropicais é a deficiência de P. O aumento do intemperismo provoca mudança gradual em algumas características do solo, tornando-o mais eletropositivo e com maior capacidade de adsorver ânions (NOVAIS & SMYTH, 1999). A adsorção de P pelos óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de Fe e Al é um dos principais fatores envolvidos na imobilização desse nutriente, sendo que a goethita é considerada a principal responsável pelo fenômeno de adsorção de P nos solos do Cerrado (BAHIA FILHO et al., 1983), sendo creditada à facilidade de acesso do ânion fosfato diácido aos grupos OH⁻ de superfície (CURI & FRANZMEIER, 1984). Há, nesse caso, uma troca de ligantes: o H₂PO₄⁻ ocupa o sítio das hidroxilas (OH⁻) previamente coordenadas ao Fe³⁺, formando complexos de superfícies muito mais estáveis e esse fenômeno é a principal causa da fixação de P por solos intemperizados (FROSSARD et al., 1994).

Os ânions de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, produzem ânions com características semelhantes às do fosfato, como a capacidade de se adsorver nos sítios presentes na goethita, aumentando a disponibilidade de P (HAYNES, 1984) e também formam complexos orgânico-metálicos estáveis com Fe e Al em várias faixas de pH (SPÓSITO, 1989). São provenientes da decomposição de matéria orgânica (SILVA et al., 1997) e o tempo de inativação dos sítios metálicos depende das quantidades de ânions orgânicos formados e da persistência destes quando liberados no solo (STEVENSON, 1994; KIRK, 1999).

Geralmente, moléculas com cadeias carbônicas menores são compostadas rapidamente pela biota do solo e a formação de substâncias que possuem grupos funcionais que atuam como bases de Brønsted-Lowry, como OH⁻ e COOH, como é o caso dos ácidos orgânicos, são mais efetivas na competição pelos sítios de adsorção (SCHWERTMAN et al., 1986; NOVAIS & SMYTH, 1999). Ânions orgânicos derivados dos ácidos oxálico e málico são mais rapidamente adsorvidos pela superfície do solo do que o fosfato, e a presença destes ânions na rizosfera pode melhorar o teor de P lábil no solo (LOPEZ HERNADEZ et al., 1986). Violante & Gianfreda (1993) observaram que a máxima redução na adsorção de fosfato foi verificada quando se adicionou o oxalato antes do fosfato, e que muitos sítios no complexo hidróxido de alumínio-montmorilonita são altamente específicos para fosfatos. Estudos realizados na Índia com o cafeeiro mostraram que a disponibilidade de K, P e micronutrientes, especialmente o Zn, aumenta acentuadamente com aplicação de ácido cítrico, misturado ao NPK na fórmula normalmente utilizada para fertilização do solo, sem alterar a acidez do solo (JAYARAMA et al., 1998).

Todavia, a aplicação de ácidos orgânicos visando o aumento na disponibilidade de P tem sido pouco estudada quando associada a fontes de nutrientes. Nesse contexto, a produção de fertilizantes organominerais granulados resultantes da associação de uma fonte de matéria orgânica com fosfato natural, pode não apenas diminuir a capacidade máxima de adsorção de P do solo, como também aumentar a disponibilidade de P por meio da solubilização do fosfato natural pelos ácidos orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica. Ainda neste sentido, seria interessante enriquecer os fertilizantes organominerais com ácido orgânico de baixo peso molecular, a fim de acelerar o processo de bloqueio dos sítios imobilizadores de P, disponibilizando por mais tempo este nutriente para a planta.

A hipótese do trabalho é que a adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, associado a fertilizantes organominerais, aumente a disponibilidade de P no solo e sua absorção pelas plantas.

Desse modo, neste trabalho pretende-se avaliar fertilizantes organominerais obtidos pela mistura de diferentes fontes orgânicas e fontes minerais, enriquecidas com ácidos orgânicos de baixo peso molecular, visando o aumento da disponibilidade de fósforo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fósforo no solo

O P é absorvido pelas plantas na sua forma inorgânica (HPO_4^{-2} e H_2PO_4^-) que se origina da solubilização de minerais fosfatados e da mineralização da matéria orgânica (GATIBONI, 2003; SCHUMACHER et al., 2003). Este elemento tem importante função nas plantas como constituintes de compostos armazenadores de energia, estimular o crescimento, a frutificação, a formação do sistema radicular no início do desenvolvimento da planta, sendo responsável também pelo arranque das plantas, pela maturidade e ajudar na formação das sementes (NAIFF, 2007).

Sob deficiência severa de P, as plantas adquirem uma coloração que varia de verde-escuro a púrpura que é característico do acúmulo de antocianinas, além da diminuição da altura da planta, atraso na emergência das folhas e redução na brotação, no desenvolvimento de raízes secundárias e na produção de matéria seca e de sementes (PRADO, 2008). Já em altas concentrações, o P diminui a disponibilidade de Zn para a planta, pois o Zn se liga ao cátion acompanhante do P, ocasionando um menor desenvolvimento e o clareamento das folhas mais novas (CORRÊA et al., 2002).

Parte do P do solo encontra-se associado à matéria orgânica e parte constitui compostos inorgânicos bastante insolúveis. A proporção entre essas duas formas é muito variável, podendo o P orgânico representar mais da metade do teor total na camada arável (CABALA & FASSBENDER, 1970).

As formas inorgânicas de P são, em geral, as que representam interesse direto para a nutrição das plantas, podendo ser agrupadas nas formas de fosfato de alumínio (P-Al), fosfato de ferro (P-Fe), fosfato de cálcio (P-Ca), fosfatos oclusos de Fe e Al e P solúvel em água. As formas inorgânicas predominantes em solos ácidos são as de P ligado ao Fe e ao Al, representadas pelos minerais strengita, variscita, respectivamente. A transformação de uma forma de fosfato em outra é controlada principalmente pelo pH: à medida que os solos se tornam mais ácidos, a atividade do Fe e do Al aumenta e as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas em P-Al e P-Fe (CHANG & JACKSON, 1958).

2.2 Fontes minerais de fósforo

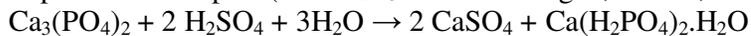
Os fosfatos naturais podem ser de origem ígnea, metamórfica ou sedimentar. Os fosfatos de origem ígnea são muito pouco reativos, com estrutura cristalina compacta, pouco porosa e com pouca presença de minerais acessórios (RAJAN et al., 1996). Por outro lado, os fosfatos de origem sedimentar apresentam estrutura cristalina fraca e com grande superfície específica. O aumento da quantidade de carbonato na apatita, através da substituição por grupos fosfato, leva a um aumento da área específica devido à diminuição do tamanho do cristalito, levando assim a um aumento da reatividade da rocha fosfatada (RAJAN et al., 1996).

No Brasil as jazidas de fosfatos naturais apresentam baixa quantidade de carbonatos e conseqüentemente baixa reatividade (NOVAIS et al., 2007). O fosfato reativo Carolina do Norte, por exemplo, possui uma relação $\text{PO}_4^{3-}/\text{CO}_3^{2-}$ da ordem de 0,26 enquanto que o fosfato natural de Patos de Minas (sedimentar) possui relação de 0,02. As jazidas de fosfato natural no Brasil são, em sua maioria de origem ígnea, como é o caso de Jacupiranga, Araxá, Tapira, Catalão e Anitópolis e o termo fosforita é utilizado para o fosfato natural de origem sedimentar, como é o caso de Patos de Minas e o de Arraias - TO (NOVAIS et al., 2007).

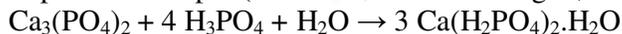
A utilização eficiente dos fosfatos naturais *in natura*, como possível fonte de P para as plantas, depende do tipo de fosfato natural, do solo a ser utilizado e da planta a ser cultivada.

No caso dos fosfatos naturais menos reativos, como os brasileiros, é necessário fazer reações ácidas para tornar o material mais solúvel e conseqüentemente mais reativo, como mostrado a seguir (NOVAIS et al., 2007):

Superfosfato simples (18% P₂O₅ em CNA + água; 11% S; 19% Ca)



Superfosfato triplo (43% P₂O₅ em CNA + água; 13% Ca)



Além dos métodos apresentados, que representam os fertilizantes fosfatados mais utilizados na agricultura brasileira, há também o fosfato monoamônico (MAP) (48% de P₂O₅ e 9% de N) e o fosfato diamônico (DAP) (45% de P₂O₅ e 16% de N), produzidos a partir da neutralização parcial do ácido fosfórico com amônia. O termofosfato (18% de P₂O₅), obtido pela fusão do fosfato de rocha com rocha magnesiana seguido de resfriamento rápido e, a utilização de bactérias do gênero *Thiobacillus*, solubilizadores de S que substituí o ácido sulfúrico na produção de superfosfato simples (16,5% P₂O₅ em CNA + água, 9% Mg; 20% Ca).

Dentre os fosfatos naturais comercializados no Brasil, o Bayovar (Peru) e o de Arraias (TO) têm sido muito utilizados. O Bayovar é de origem sedimentar e orgânica (decomposição de restos de animais marinhos) e possui como constituinte mineral principal o carbonato-hidroxi fluorapatita (Ca₅(PO₄CO₃)₃(F,OH)), também conhecido por francolita, um fosfato de cálcio com elevado grau de substituição isomórfica (FRANZINI et al., 2009). Já o fosfato natural de Arraias é de origem sedimentar e possui composição mineralógica intermediária entre a francolita e a fluorapatita (Ca₅(PO₄)₃F) (CHAVES et al., 2013).

Apesar de apresentarem menor eficiência agrônômica que as fontes solúveis, o fato do processo industrial ser mais barato por não utilizar S importado, torna os fosfatos naturais uma opção atrativa pelo baixo custo do produto final.

2.3 Fósforo orgânico no solo

A maior parte do P orgânico incorporado ao solo é, proveniente de plantas e animais, principalmente os ácidos nucleicos (aproximadamente 60%), fosfolipídeos (5-30%) e ácido teicóico (<1%) (TURNER et al., 2005). Estas moléculas se degradam rapidamente após a incorporação e, normalmente, representam apenas uma pequena fração (aproximadamente 10%) dos compostos orgânicos fosforados no solo, podendo ser mais representativos em solos florestais (DALAL, 1977).

O P orgânico a partir de fontes naturais é modificado quimicamente ou bioquimicamente ao entrar no solo. Portanto, a composição do P orgânico no solo não reflete sua entrada. Diésteres fosfatados quando adicionadas ao solo são mais instáveis e prontamente mineralizados a monoésteres fosfatados, o que pode ser atribuído às suas ligações mais fracas, as quais são prontamente quebradas por microorganismos do solo (GATIBONI et al., 2008).

O DNA e RNA consistem numa espinha dorsal de grupos alternados de açúcar e fosfato ligados através de ligações éster. A persistência do DNA no solo depende da sua taxa de mineralização. Solos com baixa atividade microbiana resultam no acúmulo de DNA de origem vegetal ou microbiana (MAKAROV et al., 2002).

Os fosfolipídeos são importantes constituintes da membrana das plantas, microorganismos e tecidos de mamíferos e os mais comuns são a fosfatidilcolina presente em plantas e mamíferos, fosfatidiletanolamina presente em microorganismos, fosfatidilinositol encontrado em plantas e fosfatidilserina encontrada em mamíferos. O mais abundante dos fosfolipídeos em solos é relatada como a fosfatidilcolina. Fosfolipídios representam apenas uma pequena fração do total de P no solo (aproximadamente 1%), no entanto, sua

concentração pode ser maior se eles se tornarem estabilizados através de adsorção em colóides (KOWALENKO & MCKERCHER, 1971).

Polifosfato é um polímero aniônico linear de monômeros de fosfato ligadas por ligações fosfoanidrido semelhantes aos encontrados em ATP. O polifosfato simples é o pirofosfato ($P_2O_7^{2-}$), onde dois grupos HPO_3^- estão ligados através em um átomo de O. Grandes quantidades de polifosfatos são encontradas em plantas unicelulares, enquanto que as plantas superiores acumulam quantidades inferiores em formas de cadeia curta, podendo estar associados a outras moléculas, tais como fosfatos de inositol, que são solúveis e se apresentam como uma forma de armazenagem de P (SEUFFERHELD & CURZ, 2010). Pirofosfato e polifosfatos de cadeia longa são susceptíveis de hidrólise enzimática no solo, o que resulta na conversão em pirofosfato e posteriormente em fosfato. No entanto, a velocidade de hidrólise é altamente dependente do nível de atividade microbiana.

Os fosfonatos são de difícil detecção em solos com alta atividade microbiana, pouca umidade, altas temperaturas e básicos (TATE & NEWMAN, 1982) constituindo, no máximo 3% do P total, porém, muitos solos estão abaixo dos limites de detecção dos métodos atuais de análise (TURNER et al., 2003).

Monoésteres fosfatados caracterizam-se por ter uma estrutura geral $ROPO_3^{2-}$, onde R é um radical orgânico. Nesta categoria são incluídos os fosfatos de açúcar, fosfoproteínas, mononucleotídeos e fosfatos de inositol, sendo este amplamente relatado por ser o mais abundante fosfato encontrado no solo (TURNER et al., 2007) na forma de nove possíveis estereoisômeros contendo seis hidroxilas esterificáveis.

Cerca de 10-25% do P orgânico fresco adicionado ao solo é constituído de monoésteres fosfatados (TURNER et al., 2005), sendo o hexaqui fosfato mio-inositol (fitato) e o hexaqui fosfato xilo-inositol as espécies identificáveis mais abundantes. O fitato, em particular, foi relatado por compreender de 3-100 % do P orgânico total presente no solo (TURNER et al., 2007).

O hexaqui fosfato mio-inositol possui como principal o armazenamento de P em sementes sendo gradualmente hidrolisado enzimaticamente para libertar fosfato durante a germinação (BASSIRI & NAHAPETIAN, 1977). A quantidade de fosfato de inositol pode variar de acordo com o nível de matéria orgânica do solo, uma vez que concentrações mais elevadas foram registradas em solos da floresta (OMOTOSO & WILD, 1970) e as concentrações consideravelmente mais baixas em solos arenosos (WILLIAMS & ANDERSON, 1968). Entretanto, as medições das concentrações anteriores de monoéster devem ser interpretadas com precaução, pois, várias técnicas analíticas sobre-estimarão concentrações, por meio da identificação incorreta de compostos orgânicos contendo P, ou, alternativamente, subestimar a concentração como resultado da recuperação incompleta (TURNER & LEYTEM, 2004)

O fitato reage fortemente com argilas (CELI & BARBERIS, 2007), metais (TURNER et al., 2007) e materiais húmicos (OMOTOSO & WILD, 1970), devido à elevada densidade de carga provocada pelos seis grupos fosfato substituídos (TURNER et al., 2002). Isso tem sido sugerido para resultar em melhor proteção física do ataque biológico e, por conseguinte, explica a sua concentração mais elevada em relação a outros compostos fosforados, que são pobremente sorvidas ao solo e mineralizados facilmente (TANG et al., 2006). Lung & Lim (2006) sugeriram que a insolubilidade do fitato no solo é a principal limitação para a sua assimilação, sugerindo a utilização de citrato em solução no solo a fim de melhorar o processo.

2.4 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica é considerada um componente fundamental do potencial produtivo do solo. Em solos de ambiente tropicais e subtropicais, a matéria orgânica tem grande importância como fonte de nutrientes para as culturas, na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura, na infiltração e retenção de água e na aeração; ainda serve como fonte de C e energia aos micro-organismos heterotróficos (BAYER & MIELNICZUK, 2008). Desse modo, a adoção de sistemas de uso e manejo do solo deve levar em consideração, entre outros aspectos, o seu efeito sobre os teores de matéria orgânica dos solos (LOPES & GUILHERME, 2007; BAYER & MIELNICZUK, 2008).

Em solos de regiões tropicais e subtropicais, a fração argila é constituída principalmente por óxidos de Fe (hematita e goethita) e Al (gibbsita) e por filossilicatos do tipo 1:1 (caulinita), cujas superfícies possuem baixa concentração de grupos funcionais de carga negativa e, por conseguinte, baixa CTC em relação aos minerais filossilicatos do tipo 2:1, comuns em solos de regiões temperadas. A caulinita, por exemplo, possui CTC de 5 a 6 vezes menor que a montmorilonita (TAN, 1998).

Nesse contexto, a matéria orgânica, através de seus grupos funcionais carboxílicos e fenólicos presentes numa concentração de 200 a 900 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (VEZZANI et al., 2008), exerce papel extremamente relevante para a CTC de solos tropicais e subtropicais, representando cerca de 50 a 90% da CTC a pH 7,0, apesar de representar para a maioria dos solos, menos de 5% da massa total de sólidos do solo (ASADU et al., 1997; VEZZANI et al., 2008).

Sua influência sobre as características do solo e a sensibilidade às práticas de manejo determinam que a matéria orgânica seja considerada um dos principais parâmetros na avaliação da qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994). Nesse sentido, o acúmulo de matéria orgânica em solos agrícolas constitui-se numa importante estratégia para a melhoria da qualidade do solo e do ambiente.

2.5 Fertilizantes organominerais

A legislação brasileira, até 1982, não considerava compostos orgânicos como fertilizantes, fazendo uma única referência a esses insumos agrícolas, declarando “ficam dispensados de registro: esterco curado, lixo fermentado, cinzas, turfas, fuligens e outros resíduos, quando vendidos como sua denominação exata”. Esta legislação demonstra claramente a falta de apoio aos produtores de fertilizantes orgânicos para melhorar a qualidade do material produzido através de correções ou adição de nutrientes a fim de obter um produto industrial mais nobre e como valor agregado, não sendo possível registrar seus produtos no Ministério da Agricultura (KIEHL, 2013).

Em 1982, a legislação brasileira foi alterada, criando 3 classes de fertilizantes orgânicos, sendo eles: orgânico simples, orgânico composto e organomineral. A Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005, define o fertilizante organomineral como “produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos”. No Capítulo III da Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009), são estabelecidas as atuais especificações, garantias e características dos fertilizantes organominerais sólidos para aplicação no solo, que deverão apresentar, no mínimo: 8% de C orgânico; 80 $\text{mmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ de CTC, 10% de macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK), 5% de macronutrientes secundários, e umidade máxima de 30%.

No Brasil, a fabricação de fertilizantes organominerais se iniciou após sua incorporação na legislação brasileira, em 1982, mas na história da adubação, o emprego do fertilizante organomineral pode ser considerado recente, se comparado aos fertilizantes

minerais, com cerca de 150 anos de experimentos (KIEHL, 2013). A cada ano, o mercado de produção de fertilizantes organominerais cresce significativamente e cada vez mais essa categoria de fertilizante tem sido empregada na agricultura brasileira.

Atualmente, a aplicação do fertilizante organomineral ao solo é feita sob duas formas: como uma formulação organomineral ou como uma mistura de fertilizante mineral + orgânico (TEJADA et al., 2005). A adição de fertilizantes minerais aos resíduos orgânicos reduz o impacto ambiental da atividade agropecuária, aumenta a fertilidade do solo e reduz o uso de fertilizantes minerais, convertendo-se em uma série de ganhos para o produtor rural.

Quando comparado às fontes minerais ou compostos orgânicos, o fertilizante organomineral aumenta a interação planta-mineral por reduzir a adsorção de P (PARENT et al., 2003), diminuir a transformação de P em formas indisponíveis para a planta (IYAMUREMYE et al., 1996; KHIARI & PARENT, 2005) e ativar a atividade de enraizamento precoce (LEE & BARTLETT, 1976).

Para Tejada et al. (2005), a aplicação de um produto orgânico e um fertilizante mineral separadamente causa diversos problemas, como o alto custo de aplicação. No entanto, a aplicação combinada do fertilizante orgânico e mineral pode ser uma estratégia de manejo da fertilidade do solo em muitos países, pois, além de aumentar o rendimento das culturas, tem-se maior efeito benéfico residual em relação ao uso de cada um dos fertilizantes, isoladamente (AKANDE et al., 2010). Nesse sentido, Kiehl (2013) afirmou que o fertilizante organomineral apresenta potencial químico reativo relativamente inferior ao fertilizante mineral, porém sua solubilização é gradativa no decorrer do período de desenvolvimento da cultura, quando sua eficiência agrônômica pode se tornar maior se comparado às fontes minerais solúveis.

Fernandes & Testezlaf (2002), avaliando a aplicação de fertilizante organomineral (biofertilizante) via água de irrigação, comparando-o com a fertirrigação convencional de adubos minerais na cultura do melão, observaram superioridade na produção de frutos com os produtos organominerais. Tejada et al. (2005), estudando as perdas por lixiviação de nutrientes de um solo tratado com fertilizante organomineral e combinação de fertilizante mineral + orgânico, verificaram que as perdas de N, P e K foram maiores no solo que recebeu a combinação dos fertilizantes. Os mesmos autores observaram que a aplicação do fertilizante organomineral resultou em aumento no teor de proteína bruta e no rendimento de grãos de trigo, comparativamente à combinação de fertilizante mineral + orgânico.

Em estudo que avaliou o efeito de dois sistemas de culturas, com e sem rotação de plantas de cobertura e associado a três fontes de adubação no solo, Steiner et al. (2011) verificaram aumento nos teores de Cu e Zn com adubação orgânica e organomineral, comparativamente à adubação mineral. Para compor o fertilizante organomineral, esses autores utilizaram formulação mineral associada a dejetos de suíno ou esterco de poedeira ou composto. Zebarth et al. (2012) relataram que a adição de fertilizante mineral ao esterco durante a produção do fertilizante organomineral aumentou a concentração de nutrientes, demandando menores taxas de aplicação no campo e que essas adições também aumentam a uniformidade nas concentrações e disponibilidade de nutrientes no produto final.

Nota-se bons benefícios agrônômicos do fertilizante organomineral: melhor desenvolvimento radicular e retenção de água no solo; recuperação da flora microbiana; baixa propensão à erosão; menor acidificação do solo, com redução do uso de calcário; custo operacional mais baixo com aplicação conjunta do produto orgânico e do mineral.

Observou-se uma eficiência superior em 20%, na produção de matéria seca em plantas de milho e soja, através da utilização de fertilizantes organominerais quando comparados a um fertilizante mineral industrializado (TEIXEIRA et al., 2011). Esta superioridade foi atribuída ao fato de que a matéria orgânica exerce sobre a diminuição da capacidade máxima de absorção de fósforo (CMAP) no solo, fato este em função da competição pelos sítios de adsorção que, por sua vez, aumenta a disponibilidade de P no solo.

Considerando que o fertilizante organomineral reúne uma série de atributos que conferem aumento na produção das culturas devido à ação da matéria orgânica, favorecendo o melhor aproveitamento dos nutrientes minerais, ainda há uma carência de estudos sobre a dinâmica de reação desse fertilizante nos solos, principalmente com relação à liberação de P e K e sua disponibilidade para as plantas.

Futuramente, espera-se que a produção de fertilizantes organominerais promova a diversificação e a desconcentração econômica da produção de fertilizantes no país, incentivando as pequenas e médias empresas. O fato da produção de fertilizantes organominerais ser pontual e regionalizada propicia que seja um processo assumido por pequenas e médias empresas, permitindo o desenvolvimento de fertilizantes específicos para os sistemas produtivos locais, respeitando diferenças de solo, clima e cultivos, o que proporcionará o aumento na eficiência da sua utilização, contribuindo para a geração de novos empregos direta e indiretamente, além de promover ganhos de logística (BENITES et al., 2012).

2.6 Ácidos orgânicos de baixo peso molecular

Os ácidos orgânicos possuem radicais funcionais que os tornam capazes de formar complexos orgânicos com Fe, Al, Ca e Mg (PEARSON, 1966), bloqueando os sítios de adsorção de P, tornando este nutriente disponível por mais tempo na solução dos solo. Este fato os torna um interessante material de estudo para melhorar a eficiência da adubação fosfatada em solos tropicais com alta capacidade de adsorção de P. Franchini et al. (1999) observaram que a utilização de ácidos orgânicos de baixo peso molecular na forma de solução pura ocasionou a formação de complexos estáveis com Ca e Al, aumentando de forma significativa sua mobilidade no perfil do solo. Os mesmos autores estudando compostos orgânicos responsáveis pela imobilização de cátions no solo, verificaram que nabo, aveia preta, tremoço trigo e soja, exsudavam ácidos orgânicos afim de melhorar a disponibilidade de nutrientes.

Os grupos carboxílicos presentes em ácidos orgânicos, principalmente os de baixo peso molecular como ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico (Figura 1), se ionizam em uma grande faixa de pH em solução e, como consequência, os ânions orgânicos, neste caso, citrato, oxalato e malato, podem formar complexos solúveis com cátions metálicos (SPOSITO, 1989).

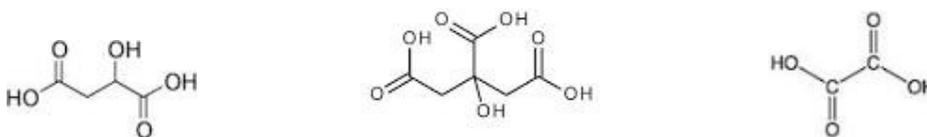


Figura 1. Ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Da esquerda para a direita temos: ácido málico, ácido cítrico e ácido oxálico.

A adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como o ácido cítrico, pode promover uma redução na adsorção e precipitação de fosfato (ANDRADE et al., 2003). Tem-se observado que o aumento das doses de ácidos orgânicos ocasiona uma maior competição pelos sítios de adsorção de fosfato (STEVENSON, 1994; GUPPY et al., 2005) ou também a formação de complexos ácido orgânico/ácido húmico-fosfato; como consequência ocorreu a redução da adsorção de fosfato o que promoveu uma maior concentração de fosfato na solução do solo (GUPPY et al., 2005).

Os ácidos orgânicos, em geral, são rapidamente mineralizados no solo (IYAMUREMYE & DICK, 1996). Stevenson (1994) afirma que a distribuição das cargas

nestes tipos de ácidos favorece a interação com a fração mineral do solo, facilitando a formação de quelatos e neutralizando de forma mais estável os sítios de adsorção de P do solo. A mineralização destes ácidos é dificultada pelo fato de que a adsorção dos mesmos em hidróxidos de Fe diminui sua degradação (GEELHOED et al., 1999).

Ácidos orgânicos de ocorrência normal em solos, tais como málico, láctico, fórmico, acético, oxálico, tartárico e cítrico, foram adicionados a amostras de solos de diferentes composições mineralógicas e diferentes teores de C, afim de avaliar a adsorção de P na presença destes ácidos (BOLAN et al., 1994; PIRES et al., 2007). Os resultados demonstraram que houve decréscimo na adsorção de P em presença dos ácidos, com consequente aumento simultâneo da solubilização do fosfato monocálcico ou rocha fosfática, sendo que a eficiência agrônômica foi maior para a rocha fosfática, indicando que os ácidos orgânicos aumentam a disponibilidade de P nos solos, principalmente através da redução da adsorção e aumento na solubilização dos compostos de P (BOLAN et al., 1994).

As raízes liberam muitos ácidos orgânicos (cítrico, málico, oxálico, butírico, acético, láctico, etc.), cuja concentração depende de fatores genéticos da planta e das condições de estresse às quais estas são submetidas (JONES, 1998). Foi verificado por JAYMAN & SIVASUBRAMANIAN (1975) que raízes de chá exsudavam ácidos orgânicos por suas raízes quando cultivados em solos pobres em P a fim de torná-lo disponível através da competição pelos sítios de adsorção.

A aplicação de ácido cítrico diretamente no solo, em áreas cultivadas com café na Índia, mostrou uma série de vantagens, dentre elas: não acidifica o solo; ajuda a solubilizar o P; reduz a precipitação que ocorre entre Zn e P; suprime a atividade via complexação de elementos tóxicos como Al, Fe e Mn; aumenta a disponibilidade de K e Zn aplicados via solo; ajuda a reduzir a taxa de aplicação de P no desenvolvimento da cultura e aumentos na produtividade em torno de 5 a 7% (JAYARAMA et al., 1998). Silva & Azevedo. (2002) afirmam que a aplicação de ácido cítrico no solo melhora o aproveitamento de P pelas plantas, sendo uma alternativa para a redução das quantidades aplicadas desse nutriente e diminuir o custo de produção.

3 CAPÍTULO I

EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM FORMULAÇÕES DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO CULTIVO DE MILHETO

3.1 Resumo

As fontes orgânicas, associadas a uma fonte mineral fosfatada, são uma alternativa de oferecer nutrientes às culturas, reduzir a retenção de P na biomassa microbiana e no solo, além de dispor de forma correta os resíduos orgânicos. A decomposição destas fontes orgânicas produz ácidos orgânicos que atuam como bloqueadores dos sítios de adsorção de P no solo e também como solubilizadores deste nutriente oriundo de fontes pouco solúveis. Este trabalho objetivou verificar o efeito da adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular em fertilizantes organominerais granulados, produzidos a partir de cama de aviário in natura e compostada, associada a fosfatos industrializados ou naturais, em cultivo com milho. O experimento tinha delineamento fatorial 2x3x4 com cinco repetições, combinando duas fontes orgânicas (cama de aviário in natura ou compostada), três fontes de P (monoamôniofosfato – MAP, fosfato natural reativo de Bayóvar - FB e fosfato natural de Arraias - FA) e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico - AC, ácido málico - AM e ácido oxálico - AO), em quatro cultivos consecutivos de milho, em Latossolo Vermelho distroférrico em casa de vegetação. A fonte orgânica in natura proporcionou maior acúmulo de matéria seca na primeira coleta. Nas coletas posteriores, os maiores valores foram observados com a cama de aviário compostada. A adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular aos fertilizantes organominerais não apresentou efeitos na disponibilidade para as plantas. O MAP proporcionou os maiores acúmulos de matéria seca e de P na parte aérea do milho.

Palavras-chave: Cama de aviário; Fertilizantes Organominerais; Ácidos Orgânicos; Compostagem.

3.2 Abstract

The organic sources associated with a phosphate mineral is an alternative source to provide nutrients to crops, to reduce the retention of P in microbial biomass and soil, and to dispose properly the organic waste, which in its decomposition produces organic acids that act as solubilizing P. This study aimed to evaluate the effect of the addition of organic acids of low molecular weight to organo-mineral fertilizer pellets, produced with in nature poultry litter or composted one, associated with industrial or natural phosphates, in cultivation of millet. The experiment had a 2x3x4 factorial design with five replications, combining two organic fertilizers (poultry litter fresh or composted), three sources of P (monoammonium phosphate - MAP, reactive phosphate Bayóvar (FB) and natural phosphate of Arraias (FA)) and four organic acids (acid-free, citric acid (CA), malic acid (MA) and oxalic acid (OA)), in four consecutive crops of millet in Oxisol in greenhouse. The organic source in natura provided higher dry matter accumulation of millet in the first cultivation. In later cultivations, the highest values were observed with the composted poultry litter. Adding organic acids of low molecular weight to the FOM had no effect on the availability of P to the plants. The MAP provided the highest contents of dry matter and P in shoots of millet.

Keywords: Poultry litter; Organomineral fertilizers; Organic acids; Composting.

3.3 Introdução

Apenas cerca de 3% do total de P presente no solo está em formas disponíveis para as plantas. O P presente no solo existe naturalmente na forma orgânica e mineral, sendo que cerca de 15 a 80% é orgânico, e desses, menos de 50% está na forma de compostos conhecidos, como inositol fosfatado, fosfolipídeos, ácidos nucleicos, além de traços de fosfoproteínas e fosfato metabólico (STEVENSON, 1994).

As fontes orgânicas representam uma alternativa de oferecer nutrientes às culturas, porém a adição direta ao solo de fontes orgânicas pode representar uma diminuição da quantidade de P em solução devido à retenção de P na biomassa microbiana. Para que a quantidade de P em solução aumente é necessário que se imobilize P no solo por um tempo correspondente ao decréscimo da fonte de C, reduzindo a relação C/P do resíduo a valores semelhantes aos da biomassa microbiana (STEVENSON, 1994).

As fontes minerais de P apresentam-se de diversas maneiras, de acordo com sua solubilidade. As fontes solúveis de P são produtos de elevada eficiência agrônômica e perfazem mais de 90% do P utilizado na agricultura brasileira (NOVAIS et al, 2007)). Já os fosfatos de rocha podem apresentar solubilidade muito baixa, como é o caso das apatitas brasileiras. Os fosfatos de origem ígnea ou metamórfica são muito pouco reativos, com estrutura cristalina compacta, pouco porosa e com pouca presença de minerais acessórios (RAJAN et al., 1996). Por outro lado, os fosfatos de origem sedimentar apresentam estrutura cristalina fraca e com grande superfície específica. O aumento da quantidade de carbonato na apatita, através da substituição por grupos fosfato, leva a um aumento da área específica devido à diminuição do tamanho do cristalito, levando assim a um aumento da reatividade da rocha fosfatada (RAJAN et al., 1996).

No cerrado, a grande maioria dos solos são de textura média ou mesmo arenosos, favorecendo uma menor adsorção de P do que os solos mais argilosos (NOVAIS et al., 2007). Porém em solos muito arenosos há perda de P por lixiviação e em solos muito argilosos há a retenção em formas não lábeis, sendo estas as principais limitações para o desenvolvimento de atividade agrícola rentável sem a aplicação de grandes quantidades de adubos fosfatados (SOUSA & LOBATO, 2004).

O papel da matéria orgânica na adsorção de P tem sido muito discutido. Na literatura é frequente encontrar correlação entre o teor de matéria orgânica e a adsorção de P. De acordo com Fontes et al. (1992), o aumento na capacidade de adsorção de P em profundidade nos solos, está diretamente relacionado à redução dos teores de matéria orgânica, com conseqüente redução da quantidade de ácidos húmicos e outros ânions capazes de bloquear a superfície dos óxidos. Alguns trabalhos têm indicado a existência de correlações positivas entre o teor de matéria orgânica e a adsorção de P, em razão principalmente do caráter aniônico da matéria orgânica, que possibilita a formação de pontes de cátions com o Al, Fe e Ca a ela adsorvidos, e, por meio dessas pontes, o P seria adsorvido (SANYAL & DE DATTA, 1991).

Entretanto, Azevedo et al. (2004) observaram que a adição de resíduos orgânicos causa redução da adsorção de P, provavelmente devido à produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular que bloqueiam os sítios de adsorção de P. O solo com alto teor de Fe e Al possui grande potencial de adsorção de ácidos orgânicos, os quais competem com os sítios de adsorção de P do solo. Os ácidos orgânicos resultantes da decomposição da matéria orgânica podem também diminuir o pH, tendo como benefício a solubilização dos fosfatos naturais, elevando assim sua eficiência agrônômica. No entanto, faltam estudos avaliando a contribuição da matéria orgânica na eficiência agrônômica dos fosfatos naturais.

Dentre os ácidos com grande potencial de bloqueio dos sítios de adsorção de P no solo, temos os ácidos málico, oxálico e cítrico, por possuírem vários grupos OH e COOH. Os ácidos orgânicos, em geral, são rapidamente mineralizados no solo (IYAMUREMYE & DICK, 1996). De acordo com Guppy et al. (2005), a aplicação de resíduos orgânicos como esterco de curral, aumenta a produção pelas raízes de ácidos orgânicos, através da exsudação, além do metabolismo de microorganismos que ocasiona uma reposição contínua desses ácidos, mantendo o processo de bloqueio dos sítios de adsorção por um período de tempo maior.

No Brasil, em especial na cidade de Rio Verde – GO, uma grande fonte de matéria orgânica que pode ser associada às fontes minerais de P é a cama de aviário, devido à presença de uma grande agroindústria de produção de derivados de aves e suínos. No Brasil foram produzidos cerca de 8,42 milhões de toneladas de resíduos derivados da produção de aves em 2012 (CONAB, 2013). Parte destes resíduos é utilizada na agricultura como fertilizante e adicionado ao solo sem nenhum controle e, em muitos casos o uso excessivo pode causar poluição ambiental e contaminação de águas. Neste contexto, seria adequada a utilização da cama de aviário associada a uma fonte de nutriente a fim de dispor corretamente este resíduo, se tornando uma alternativa viável tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental.

Nesses estudos, necessita-se de uma espécie vegetal que seja uma boa extratora de nutriente, para verificar a eficiência de extração do P no fertilizante organomineral produzido. O milheto (*Pennisetum americanum*) se constitui em uma forrageira de verão e possui alto valor nutritivo na alimentação animal. Pertence à família das gramíneas, com grande adaptação ao Cerrado brasileiro, onde o nível de fertilidade é baixo e o período de estiagem é quase sempre prolongado durante o ano (SCALÉA, 1998). Possui fácil adaptação devido à alta capacidade de tolerar déficit hídrico e ser capaz de extrair nutrientes do solo, em especial o P, em face do seu sistema radicular fasciculado e profundo (SILVA et al., 1997).

Este trabalho objetivou verificar o efeito da adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular em fertilizantes organominerais granulados, produzidos a partir de cama de aviário in natura e compostada, associada a fosfatos industrializados ou naturais, em cultivo com milheto em casa de vegetação.

3.4 Materiais e Métodos

3.4.1 Delineamento experimental

O experimento teve início no dia 16 de setembro de 2011 e foi realizado em casa de vegetação convencional, localizada na Universidade de Rio Verde. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3x4, combinando duas fontes orgânicas (cama de aviário in natura e cama compostada), três fontes de P (MAP, fosfato reativo de Bayóvar, e fosfato natural de Arraias) e quatro tratamentos com ácidos orgânicos de baixo peso molecular (ácido cítrico, ácido málico, ácido oxálico, e ausência de ácido orgânico), com cinco repetições.

3.4.2 Preparação do fertilizante

As formulações de fertilizantes utilizadas nos experimentos foram produzidas no laboratório de granulação de fertilizantes, localizado na Universidade de Rio Verde, situada na fazenda Fontes do Saber, município de Rio Verde - GO.

Para a produção dos fertilizantes foi utilizado como fonte orgânica cama de aviário in natura, composta basicamente por palha de arroz e excrementos de aves, coletada de aviário localizado no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e cama de aviário compostada produzida pelo laboratório de granulação de fertilizantes – Embrapa Solos, localizado na Universidade de Rio Verde. Após a coleta, a cama de aviário in natura foi seca ao ar, pulverizada utilizando-se moinho marca KDS-micronex modelo S3 e acondicionada em tambores plásticos de 100 L, para evitar o ganho de umidade.

As fontes de P utilizadas foram: fosfato natural reativo de Bayóvar, fosfato natural de Arraias e monoamôniofosfato (MAP), sendo que as duas primeiras são fontes de fosfatos naturais e o MAP como fonte de P industrializado comumente utilizado na agricultura.

A base para a preparação de cada fertilizante contou com 60% de material orgânico (cama de aviário in natura ou cama de aviário compostada) e 40% de material inorgânico (fosfato natural de Arraias, fosfato natural reativo de Bayóvar ou MAP), previamente secos em estufa a 65 °C por 12 horas e, ácido orgânico (cítrico, málico ou oxálico) na concentração de 50 mmol kg⁻¹ da mistura base para fertilizante, peneiradas em peneira granulométrica ASTM 170 para a retirada de partículas maiores provenientes da moagem. Em seguida cada mistura foi colocada em um liquidificador industrial e homogeneizada por 10 minutos.

Após a homogeneização, a mistura foi levada ao granulador de fertilizantes e os grânulos foram preparados a uma velocidade de 60 RPM com inclinação do prato de 40°. Em seguida os grânulos foram secos ao ar por 2 horas e posteriormente em estufa por 24 horas a 65 °C. Após a secagem, o material foi dividido utilizando peneira granulométrica, em frações de 0-1 mm, 1-2 mm e 2-4 mm e acima de 4 mm e acondicionados em recipientes plásticos. Foram utilizadas para a implantação do experimento em casa de vegetação apenas os grânulos com dimensões entre 1-2 mm.

A quantidade de P total em cada fertilizante foi determinada através análise química realizada no laboratório de análises químicas de solos e material vegetal da Universidade de Rio Verde - GO utilizando o método de digestão nitro-preclórica e os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Teores de P₂O₅ total após produção do fertilizante organo-mineral.

Mistura	Teor de P ₂ O ₅ total (%)
cama de aviário + MAP	13,62
cama de aviário compostada + MAP	13,54
cama de aviário + Bayóvar	7,42
cama de aviário compostada + Bayóvar	7,55
cama de aviário + Arraias	6,01
cama de aviário compostada + Arraias	6,10

3.4.3 Implantação do experimento

O solo do tipo Argissolo Vermelho Distroférico foi coletado de reserva de Cerrado localizada na Universidade de Rio Verde a uma profundidade de aproximadamente 3 m. Este solo foi escolhido por conter baixas quantidades de nutrientes, principalmente P, resultado comprovado através de análise de solo realizada no laboratório de análise de solo e material vegetal da Universidade de Rio Verde (Tabela 2).

O solo foi inicialmente homogeneizado e sua umidade e capacidade de campo determinadas conforme Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos (BRASIL, 2007). Posteriormente foram pesadas 120 alíquotas de 5,46 kg e estas foram colocadas em vasos de plástico flexível.

Tabela 2. Resultado de análise química e física do solo utilizado no experimento em casa de vegetação antes da calagem.

P	M.O.	pH	S	T	V	Argila	Silte	Areia
mg dm ⁻³	g dm ⁻³	em água	mmol _c dm ⁻³			%		
1,09	17,41	5,4	8,66	26,81	32,29	43,52	13,11	43,37

P = fósforo; M.O = matéria orgânica; S = enxofre; V = saturação por bases

O pH do solo foi corrigido com 1,13 g de óxido de cálcio colocado em cada vaso. O solos de cada vaso foi colocado em sacos plásticos com adição de 500 mL de água, sob agitação. O solo foi transferido para o vaso com a adição de mais 1,6 L de água para se atingir sua capacidade de campo e deixado em repouso por vinte dias. A reposição de água perdida por evaporação era realizada diariamente com adição de 100 mL de água por vaso e, a cada sete dias, através de seleção e pesagem aleatória de vinte vasos, para as correções na capacidade campo de todos os vasos do experimento.

As quantidades de fertilizante adicionado, após o período de correção do solo a cada vaso foi estipulada como equivalente a 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (275 mg vaso⁻¹), e são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Massa dos fertilizantes organominerais definidas para cada tratamento em experimento de casa de vegetação.

Mistura	Fertilizante aplicado (g vaso ⁻¹)	P ₂ O ₅ aplicado (mg vaso ⁻¹)
cama de aviário + MAP	2,02	275,1
cama de aviário compostada + MAP	2,03	274,9
cama de aviário + Bayóvar	3,71	275,3
cama de aviário compostada + Bayóvar	3,64	274,8
cama de aviário + Arraias	4,58	275,3
cama de aviário compostada + Arraias	4,51	275,1

Os fertilizantes foram colocados nos vasos através da retirada de uma camada de 5 cm de solo, com posterior espalhamento do fertilizante ao solo e recobertos novamente com o solo retirado. Os vasos foram regados com 200 mL de água e deixados em repouso por 1 dia. Após o período de descanso foram feitos 10 furos com profundidade de 2 cm utilizando um bastão de vidro e em cada furo foi adicionada uma semente de milheto (*Pennisetum glaucum*) marca Sementes Adriana (ADR300). O milheto foi utilizado como planta teste, visto que possui alta capacidade de absorção de água e nutrientes, e esta variedade em especial é conhecida como uma excelente extratora de P. Os furos foram tampados com solo e os vasos regados com 200 mL de água.

Após oito dias do plantio, iniciou-se o processo de aplicação de solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950) sem P, conforme Tabela 4. Esta solução foi adicionada em intervalos de 4 dias, com 100 mL por vaso totalizando 8 aplicações durante o ciclo vegetativo. Aos 12 dias após plantio foi feito desbaste das plantas excedentes, deixando 3 plantas por vaso.

Tabela 4. Composição da solução nutritiva de Hoagland & Arnon sem P (1950)

Fertilizantes e sais da solução estoque	Concentração da solução estoque (g L ⁻¹)	Volume de solução adicionada para preparar 1 L de solução sem P (mL)
KH ₂ PO ₄ (mol L ⁻¹)	136,09	-
KNO ₃ (mol L ⁻¹)	101,11	5
Ca(NO ₃) ₂ .5H ₂ O (mol L ⁻¹)	236,16	5

MgSO ₄ .7H ₂ O (mol L ⁻¹)	247,47	2
KCl (mol L ⁻¹)	74,56	1
CaCl ₂ .2H ₂ O (mol L ⁻¹)	147,02	-
NH ₄ H ₂ PO ₄ (mol L ⁻¹)	115,31	-
NH ₄ NO ₃ (mol L ⁻¹)	80,04	-
(NH ₄) ₂ SO ₄ (mol L ⁻¹)	132,14	-
MgNO ₃ .6H ₂ O (mol L ⁻¹)	256,43	-
Solução de micros (*)		1
Solução Fe com EDTA (**)		1

(*) Em 1 L: 2,86 g de H₃BO₃; 1,81 g de MnCl₂.4H₂O; 0,10 g de ZnCl₂; 0,04 g de CuCl₂; 0,02 g de H₂MoO₄.

(**) 24,9 g de FeSO₄.7H₂O; 33,2 g de EDTA-Na; 89 mL NaOH 1 mol.L⁻¹.

Após quarenta e cinco dias da germinação, as plantas foram cortadas rente ao solo com o auxílio de um estilete e secas em estufa com circulação de ar a 65 °C por 72 horas, pesadas e trituradas em moinho de facas tipo Wiley e armazenadas em sacos de papel. O solo foi mantido úmido em descanso por oito dias, e em seguida o mesmo procedimento de plantio e coleta foi repetido por mais três ciclos. As análises do teor de P presente no material vegetal foram realizadas utilizando método colorimétrico com digestão nitroperclórica de acordo com Embrapa (2009). A quantidade de P acumulado foi obtida pelo produto entre a massa seca de parte aérea e o respectivo teor de P na parte aérea.

3.4.4 Análises estatísticas

Foram analisadas as variáveis matéria seca e P acumulado na matéria seca da parte aérea. Desta forma, optou-se por apresentar as tabelas em três formatos: o primeiro com as médias de cada fonte de variação, o segundo com as interações duplas entre fontes de P e fontes orgânicas, e o terceiro com a decomposição da interação tripla entre os fatores.

Os dados obtidos em cada época de cultivo das plantas de milho, e do somatório das quatro épocas de coleta, foram submetidos à análise de variância, considerando um fatorial triplo entre fonte orgânica, fontes de P e ácidos orgânicos, avaliando o efeito de cada fator e de suas interações duplas e triplas. A comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey (P<0,05), utilizando o pacote estatístico SISVAR versão 4.0 (FERREIRA, 2000). Foram ajustadas curvas de regressão aos dados de matéria seca e P acumulado na parte aérea, com as coletas como variável independente, utilizando o Software Microcal Origin versão 6.0. Foram testados os modelos linear e quadrático, sendo escolhido o modelo que apresentou a melhor relação entre os níveis de significância e R².

3.5 Resultados e Discussão

No experimento foram avaliadas formulações de fertilizante organomineral compostas de três diferentes tipos de matéria prima, ou seja, duas fontes orgânicas de cama de aviário, três fontes de P e quatro ácidos orgânicos, em quatro cultivos consecutivos. Foi identificado na análise de variância efeitos significativos dos fatores isolados, de muitas interações duplas entre os fatores, e de poucas interações triplas (Tabelas 1 e 2, Apêndice A).

Observa-se nas Tabelas 5 e 6 as médias dos fatores isolados obtidas em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayovar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico). Os resultados para o tipo de cama utilizada mostram que apenas após os 45 dias da implantação do experimento (DIE), ou seja, após o

primeiro cultivo, houve um maior acúmulo de matéria seca para o fertilizante organomineral produzido com cama de aviário in natura (Tabela 5), porém não houve diferença significativa na acumulação de P (Tabela 6). Já para a cama compostada, os maiores valores de matéria seca e acumulação de P foram observados aos 90, 135 e 180 DIE, sendo significativos para a matéria seca aos 135 DIE (Tabela 5) e, para a acumulação de P aos 90 e 180 DIE (Tabela 6). No acumulado dos quatro cultivos, verifica-se que a cama de aviário compostada apresentou valores superiores que a cama de aviário in natura.

A matéria orgânica desempenha papel ambivalente, podendo adsorver o P ou bloquear os sítios de adsorção na superfícies das argilas e dos óxidos de Fe e Al (Sanyal & De Datta, 1991). Neste sentido credita-se a menor quantidade de P acumulado na primeira coleta quando se utilizou fertilizante produzido com cama de aviário, à maior quantidade de ácidos húmicos que atuaram no bloqueio dos sítios de adsorção de P, que foi liberado gradativamente ao longo das coletas subseqüentes, conforme observado na Tabela 6. Este fato também foi relatado por Stevenson (1994) e Guppy et al. (2005), que afirmaram que a presença de ácidos húmicos provenientes da decomposição formam complexos ácido orgânico/ácido húmico-fosfato; como consequência ocorreu a redução da adsorção de fosfato, o que promoveu uma maior concentração de fosfato na solução do solo, aumentando sua disponibilidade por um maior período tempo.

A utilização de ácidos orgânicos de baixo peso molecular nas formulações dos fertilizantes não resultou em efeitos significativos para a produção de matéria seca em praticamente nenhum dos cultivos, e para a acumulação de P o maior valor foi observado para o fertilizante organomineral produzido sem adição de ácido no primeiro cultivo (Tabelas 5 e 6). Observa-se que para os fertilizantes produzidos com adição de ácido, a acumulação de P não se concentrou no primeiro cultivo, em relação ao fertilizante sem ácidos orgânicos. A partir do segundo cultivo os valores se igualaram ou foram superiores e, no terceiro cultivo houve resultado superior para os fertilizantes produzidos com adição de ácidos orgânicos. A quantidade de P acumulado pela planta no primeiro cultivo para o fertilizante produzido sem adição de ácido orgânico é cerca de 40 a 50% superior à acumulação pelas plantas tratadas com fertilizantes contendo ácidos orgânicos. Este fato sugere que a adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular atua como condicionador para liberação gradativa de fosfato associado às fontes orgânicas adicionadas.

Quando se realiza a adubação fosfatada, parte do fosfato adicionado é rapidamente adsorvido ao solo e entra em equilíbrio com o P-solução, sendo denominado P-lábil (NOVAIS & SMYTH, 1999). Após esta fase de rápida adsorção ocorre uma fase lenta que imobiliza o fosfato através de novas ligações, deixando-o indisponível para assimilação. Provavelmente os ácidos orgânicos adicionados atuam impedindo a imobilização lenta de P por um período maior, fazendo com que seja aproveitado por mais tempo pela planta. Este fato está de acordo com Andrade et al. (2003), que afirmam que entre os ácidos com grande potencial de bloqueio dos sítios de adsorção de P no solo, tem-se os ácidos málico, oxálico e cítrico, por possuírem vários grupos OH e COOH e portanto, o fosfato estaria disponível por um tempo maior no solo.

As fontes de P utilizadas apresentaram diferenças significativas para a matéria seca e P acumulado em todas as coletas, sendo que a fonte industrializada (MAP) apresentou maiores valores que as fontes naturais (Tabelas 5 e 6), devido ao maior teor de solúvel de P. Quando foram comparadas apenas as fontes naturais, observa-se maiores valores para o fosfato natural de Arraias em todas as coletas para os dois parâmetros estudados, exceto na acumulação de P no primeiro cultivo, onde o fosfato natural reativo de Bayóvar apresentou resultado superior, porém não significativo. Este maior acúmulo de P pode ser explicado pelo fato de que o fosfato natural reativo de Bayóvar apresenta maior quantidade de P solúvel que o fosfato natural de Arraias.

Tabela 5. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayóvar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico); médias dos fatores isolados.

Matéria seca de parte aérea (g vaso ⁻¹)					
Fonte de variação	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3	Cultivo 4	Acumulado
Fonte orgânica					
In natura	8,58 a	6,22 b	3,72 b	1,77	20,30 b
Compostada	7,64 b	7,59 a	4,65 a	1,97	21,85 a
Tipo de ácido					
Sem ácido	7,94	7,41	4,53 a	2,02	21,90
Ácido cítrico	8,27	6,33	3,88 b	1,71	20,20
Ácido málico	8,19	7,10	4,27 ab	1,95	21,51
Ácido oxálico	8,04	6,77	4,07 ab	1,80	20,67
Fonte de P					
Bayóvar	6,06 b	5,41 c	2,55 c	1,00 b	15,01 c
Arraias	6,24 b	6,60 b	3,73 b	1,29 b	17,85 b
MAP	12,02 a	8,71 a	6,29 a	3,33 a	30,35 a

Médias seguidas pela mesma letra ou desprovidas de letra, dentro de cada fonte de variação (tipo de cama, tipo de ácido e fonte de P), dentro de cada época de coleta, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 6. Acúmulo de P na parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayóvar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico); médias dos fatores isolados.

P acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)					
Fonte de variação	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3	Cultivo 4	Acumulado
Fonte orgânica					
In natura	11,06	7,61 b	5,63	1,56 b	26,04 b
Compostada	11,51	9,62 a	5,33	2,55 a	29,01 a
Tipo de ácido					
Sem ácido	14,75 a	8,28	3,60 b	2,61 a	29,25
Ácido cítrico	9,89 b	9,13	6,04 a	1,65 b	26,71
Ácido málico	9,51 b	8,20	6,32 a	2,35 a	26,39
Ácido oxálico	10,98 b	8,84	5,94 a	2,02 ab	27,76
Fonte de P					
Bayóvar	8,93 b	5,42 c	2,13 c	1,08b	17,57 c
Arraias	6,85 b	8,20 b	4,71 b	1,24b	20,98 b
MAP	18,07 a	12,23 a	9,59 a	4,14a	44,03 a

Médias seguidas pela mesma letra ou desprovidas de letra, dentro de cada fonte de variação (tipo de cama, tipo de ácido e fonte de P), dentro de cada época de cultivo, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As Tabelas 7 e 8 mostram os desdobramentos de cada fonte de P dentro de cada fonte orgânica dentro de cada cultivo, para matéria seca de parte aérea e P acumulado, respectivamente. Os resultados mostram que em todas os cultivos a fonte mineral (MAP) apresentou maiores valores que as fontes naturais de P, tanto para matéria seca quanto para P acumulado.

Para a matéria seca (Tabela 7), nos cultivos 1 e 2 observa-se uma diferença significativa na média geral das fontes de P, sobressaindo-se os fertilizantes produzido com MAP, e o fertilizante produzido com fostato natural de Arraias e cama de aviário in natura apresentou melhor resultado em relação ao mesmo fertilizante produzido com cama

compostada. Já nos cultivos 3 e 4, os resultados continuaram sendo significativos para o fertilizante produzido com MAP, porém, os fertilizantes produzidos com fosfato natural de Arraias passaram a apresentar melhores resultados quando produzidos com cama de aviária compostada. No acumulado, os fertilizantes produzidos com fosfato natural reativo de Bayóvar e MAP apresentaram melhor produção de matéria seca quando incorporados à cama de aviário compostada, enquanto que os produzidos com o fosfato natural de Arraias não apresentaram diferenças entre as fontes orgânicas.

A acumulação de P (Tabela 8) foi significativamente superior para o fertilizante produzido com MAP em todos os cultivos, sendo que no cultivo 3 o resultado foi melhor para o fertilizante produzido com cama in natura, enquanto que no cultivo 4 para o fertilizante produzido com cama compostada, porém no acumulado não apresentaram diferenças significativas. Observa-se também que o fertilizante produzido com fosfato natural de Arraias apresentou melhores resultados na acumulação de P nos cultivos 2 e 4, no entanto no acumulado não apresentou diferenças significativas. Já para o fertilizante produzido com fosfato natural reativo de Bayóvar, não houve diferenças significativas entre as fontes orgânicas, porém no acumulado o fertilizante produzido com cama de aviário compostada foi superior ao fertilizante produzido com cama de aviário in natura.

Tabela 7. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, para o desdobramento da interação de cada fonte de P e fonte orgânica.

Fonte de P	Matéria seca de parte aérea (g vaso ⁻¹)									
	Cultivo 1		Cultivo 2		Cultivo 3		Cultivo 4		Acumulado	
	Fonte Orgânica									
	In natura	Comp.	In natura	Comp.	In natura	Comp.	In natura	Comp.	In natura	Comp.
Bayóvar	6,25 b	5,34 b	4,20 c	6,61 b	2,0 cB	3,1 cA	0,85 b	1,14 c	13,3 cB	16,7 bA
Arraias	7,1 bA	5,9 bB	5,9 bB	7,3 bA	2,9 bB	4,5 bA	0,9 bB	1,7 bA	16,9 b	18,8 b
MAP	12,3 a	11,7 a	8,53 a	8,90 a	6,23 a	6,35 a	3,53 a	3,12 a	30,6 a	30,0 a

Letras minúsculas comparam as diferentes fontes de P na coluna, e letras maiúsculas comparam as diferentes fontes orgânicas na linha, dentro da mesma coleta; médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 8. Acúmulo de P na parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, para o desdobramento de cada fonte de P dentro de cada fonte orgânica, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada) e três fontes de P (Bayóvar, Arraias e MAP); médias de quatro ácidos orgânicos adicionados às formulações.

	P acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)									
	Cultivo 1		Cultivo 2		Cultivo 3		Cultivo 4		Acumulado	
	In natura	Comp.	In natura	Comp.	In natura	Comp.	In natura	Comp.	In natura	Comp.
Bayóvar	8,86 b	9,00 b	3,6 cB	7,3 bA	1,87 c	2,39c	0,94b	1,23b	15,2cB	19,9bA
Arraias	6,93 b	6,78 b	7,4 bB	9,0 bA	4,34 b	5,09b	0,8bB	1,72bA	19,37b	22,60b
MAP	17,4 a	18,76 a	11,9 a	12,6 a	10,7 aA	8,50aB	3,6aB	4,71aA	43,52a	44,54a
Média	11,06	11,51	7,61B	9,62A	5,33	5,63	1,76B	2,56A	26,0B	29,01A

Letras minúsculas comparam as diferentes fontes de P dentro coluna, e letras maiúsculas comparam as diferentes fontes orgânicas dentro da linha, dentro da mesma coleta; médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados da interação tripla entre as fontes de P, fontes orgânicas e ácidos orgânicos de baixo peso molecular para matéria seca e P acumulado na parte aérea nas quatro coletas realizadas, bem como para a matéria seca e P acumulado

total. O fertilizante organomineral produzido com MAP apresentou os maiores acúmulos de matéria seca, em relação ao fosfato de Bayóvar e ao fosfato de Arraias, em todas as coletas para todos os tipos de ácido utilizados, independente de se utilizar fonte orgânica compostada ou in natura. Analisando os efeitos dos ácidos em separado, observa-se, no primeiro cultivo, que a adição de ácido cítrico aumentou a produção de matéria seca para o fertilizante organomineral produzido com MAP em ambas as fontes orgânicas e a adição de ácido oxálico aumentou a matéria seca para a fonte orgânica in natura, todas elas em comparação com o fertilizante produzido sem adição de ácido orgânico, porém sem diferenças estatísticas (Tabela 9).

Tabela 9. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayóvar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico).

	Matéria seca de parte aérea (g vaso ⁻¹)							
	Sem ácido		Ácido cítrico		Ácido málico		Ácido oxálico	
	In natura	Comp.	In natura	Comp.	In natura	Comp.	In natura	Comp.
Cultivo 1								
Bayóvar	6,56 b	4,93 b	6,86 b	5,08 b	7,58 b	6,13 b	5,78 b	5,59 b
Arraias	8,85 abA	4,75 bB	5,85 b	5,08 b	7,09 b	6,40 b	6,78 b	5,13 b
MAP	11,17 a	11,36 a	13,17 a	13,58 a	11,86 a	10,06 a	13,16 a	11,78 a
Cultivo 2								
Bayóvar	5,33 b	7,01 a	3,50 bB	5,62 bA	4,10 bB	7,34 bA	3,84 bB	6,48 bA
Arraias	7,45 ab	7,48 a	4,59 bB	8,06 abA	5,26 b	6,90 b	6,47 a	6,56 b
MAP	8,89 a	8,30 a	8,23 a	8,03 a	8,82 a	10,20 a	8,18 a	9,07 a
Cultivo 3								
Bayóvar	2,24 cB	3,53 bA	1,64 b	2,38 c	2,13 b	3,19 c	1,98bB	3,28 cA
Arraias	4,09 b	4,34 b	2,44 bB	4,38 bA	2,73 bB	4,64 bA	2,78bB	4,72 bA
MAP	6,73 a	6,22 a	6,09 a	6,36 a	6,45 a	6,49 a	5,36aB	6,59 aA
Cultivo 4								
Bayóvar	0,98 b	1,23 b	0,82 b	1,15 b	0,89 b	1,15 b	0,71b	1,02 b
Arraias	1,12 b	1,97 ab	0,75 bB	1,66 abA	0,74 b	1,50 b	1,09b	1,50 b
MAP	3,83 a	2,99 a	3,34 a	2,52 a	3,91 a	3,51 a	3,01a	3,48 a
Acumulado								
Bayóvar	15,11 c	16,71 b	11,06 bB	16,01bA	14,70 b	17,80 b	12,32 bB	16,38 bA
Arraias	18,54 b*	21,53 b	13,64 bB	19,17 bA	15,82 b	19,44 b	16,80 b	17,90 b
MAP	30,62 a	28,88 a	31,11 a	30,21a	31,05 a	30,26 a	29,73 a	30,92 a

Letras maiúsculas comparam os tipos de cama dentro de cada ácido na linha, e letras minúsculas comparam as fontes de P dentro de cada fonte orgânica na coluna; * Melhor resultado significativo para cada ácido em cada fonte orgânica dentro de cada fonte de P. Médias seguidas pela mesma letra ou desprovidas de letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para a acumulação de P na parte aérea de plantas de milho, observa-se que houve diferenças significativas em todos os cultivos para as fontes de P dentro de cada nível de ácido combinado com uma fonte orgânica, sendo que o fertilizante produzido com MAP apresentou os melhores resultados no primeiro cultivo, e o fertilizante produzido com ácido málico e Bayóvar apresentou resultado similar ao fertilizante produzido com ácido málico e MAP. Observa-se também que o fertilizante produzido sem adição de ácido apresentou melhor resultado com a cama compostada (Tabela 10).

No segundo cultivo observa-se que no fertilizante produzido sem ácido, os resultados encontrados para os fertilizantes organominerais produzidos com MAP e Arraias não apresentaram diferenças significativas, bem como o fertilizante produzido com ácido cítrico e cama compostada e ácido oxálico e cama in natura. Quando se observa os efeitos do tipo de

cama, nota-se no cultivo 2 que a mistura de cama de aviário in natura e MAP apresentou melhor resultado do que com cama in natura. Já no mesmo fertilizante tratado com ácido cítrico, o melhor resultado foi para o produzido com cama compostada.

No acumulado dos quatro cultivos, os fertilizantes produzidos com MAP foram os que apresentaram os melhores resultados na acumulação de P, tanto com cama in natura como com cama compostada, sendo que a adição de ácido cítrico mostrou melhor resultado com cama in natura enquanto que o ácido oxálico com cama compostada. Os fertilizantes produzidos com fosfato natural de Arraias apresentaram maiores valores, tanto para as fontes orgânicas in natura e compostada sem adição de ácido, e o fertilizante produzido com MAP e fonte orgânica compostada foi o que apresentou maior acúmulo de P quando incorporou-se ácido oxálico em sua formulação, resultado também observado por Andrade et al. (2003). Os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas.

A adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular em formulações de fertilizantes organominerais diminuiu os valores de P acumulado, no primeiro cultivo, em relação ao fertilizante produzido sem adição de ácido, para os fertilizantes organominerais produzidos com fosfato natural de Arraias e MAP, exceto para o fertilizante organomineral produzido com adição de ácido oxálico, enquanto que para o fertilizante produzido com fosfato natural reativo de Bayóvar os valores mantiveram-se praticamente inalterados (Tabela 10). Porém, ao analisar os cultivos 2 e 3, observa-se que para o MAP os valores de P acumulado se mantiveram com valores iguais, no caso do ácido cítrico na segunda coleta para fonte orgânica compostada, ou superiores; no terceiro cultivo, o acúmulo de P foi superior em 173%, quando comparado com o fertilizante organomineral produzido sem adição de ácido utilizando cama in natura como fonte orgânica. Este fato colabora com a afirmação de Silva e Azevedo (2002) de que a aplicação de ácido cítrico no solo aumenta o aproveitamento de P pelas plantas.

A Figura 9 mostra a acumulação de P (gráficos 2.1 e 2.3) e acumulação de matéria seca (gráficos 2.2 e 2.4) em milho cultivado em casa de vegetação sob diferentes formulações de fertilizantes organominerais, em quatro cultivos consecutivos. Não houve diferença entre os tratamentos para a matéria seca, porém para a acumulação de P observa-se uma superioridade com a presença dos ácidos orgânicos nas formulações dos fertilizantes. O ácido cítrico foi mais efetivo para a acumulação de P quando se utilizou cama de aviário in natura e o ácido oxálico apresentou melhor resultado para cama de aviário compostada.

Tabela 10. Acúmulo de P na parte aérea de plantas de milho, em quatro cultivos sucessivos em vasos com solo, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral, compostas de duas fontes orgânicas de cama de aviário (in natura ou compostada), três fontes de P (Bayóvar, Arraias e MAP), e quatro ácidos orgânicos (sem ácido, ácido cítrico, ácido málico e ácido oxálico).

	P acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)							
	Sem ácido		Ácido cítrico		Ácido málico		Ácido oxálico	
	Natura	Comp.	Natura	Comp.	Natura	Comp.	Natura	Comp.
Cultivo 1								
Bayóvar	9,18 b	8,08 b	6,72b	11,10b	10,10ab	9,20a	9,42b	7,60b
Arraias	13,76 b	10,22 b	3,56b	6,98b	5,06b	6,18a	5,32b	3,74b
MAP	20,9 aB	26,3 aA	13,62a	17,36a	15,14a	11,38a	19,90a	19,92a
Cultivo 2								
Bayóvar	3,40b	5,78b	3,86c	6,54b	3,38bB	8,66bA	3,68bB	8,06bA
Arraias	8,68a	10,08a	7,62bB	11,1aA	4,14b	6,72b	9,04a	8,16b
MAP	11,44a	10,32a	15,1aA	10,5aB	12,04a	14,24a	10,88aB	15,2aA
Cultivo 3								
Bayóvar	1,54b	2,24b	1,48b	2,06b	1,94b	2,38b	2,52c	2,86b
Arraias	3,70ab	3,20ab	4,00b	5,78a	5,00b	7,18a	4,64b	4,20b

MAP	5,38a	5,54a	14,7aA	8,26aB	11,76a	9,66a	10,90a	10,54a
Coleta 4								
Bayóvar	1,68ab	2,00b	0,62b	0,92b	0,80b	1,08b	0,64b	0,92b
Arraias	1,08b	3,12b	0,56b	1,40b	0,50b	1,22b	0,88b	1,12b
MAP	2,80aB	4,96aA	3,22a	3,14a	5,46a	5,02a	2,84aB	5,70aA
Acumulado								
Bayóvar	15,76c	18,14c	12,66b	20,64b	16,26b	21,34b	16,26b	19,46b
Arraias	27,24b*	26,62b*	15,7bB	25,3bA	14,70b	21,32b	19,84b	17,86b
MAP	40,54a	47,18a	46,6aA	39,3aB	44,40a	40,30a	42,4aB	51,3aA*

Letras maiúsculas comparam as fontes de cama dentro da fonte ácido; letras minúsculas comparam as fontes de P dentro de cada fonte orgânica. * Melhor resultado significativo para cada ácido em cada fonte orgânica dentro de cada fonte de P. Médias seguidas pela mesma letra ou desprovidas de letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

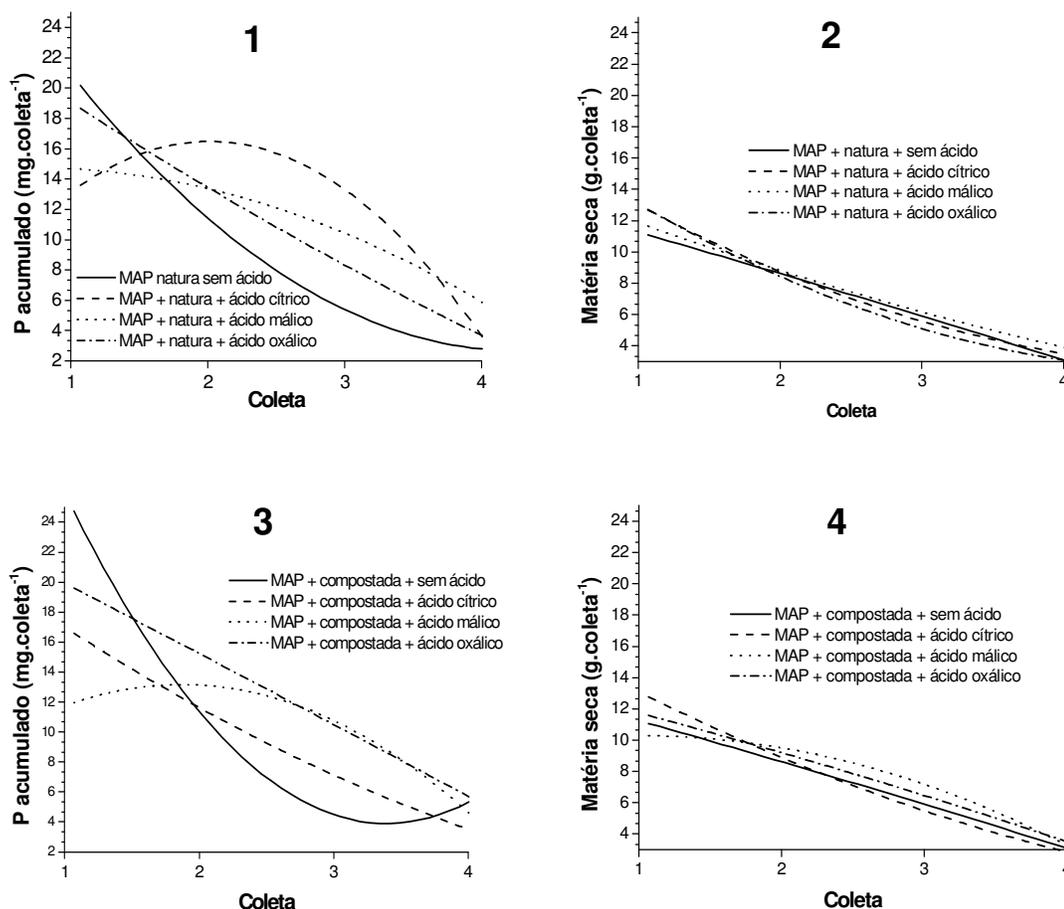


Figura 2. Acúmulo de P na parte aérea e matéria seca de parte aérea em quatro cultivos consecutivos de milho cultivado com fertilizante organomineral produzido com cama de aviário in natura (gráficos 2.1 e 2.2) e compostada (gráficos 2.3 e 2.4) como fonte orgânica e MAP como fonte de P, enriquecidos com ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico, málico e oxálico).

3.6 Conclusões

A fonte orgânica in natura proporcionou o maior acúmulo de matéria seca de parte aérea de plantas de milho no primeiro cultivo. Nos cultivos posteriores, os maiores valores foram apresentados pela cama de aviário compostada.

A adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular não apresentou efeitos na acumulação de P das plantas, quando incorporados ao fertilizante organomineral.

Os fertilizantes organominerais produzidos com adição de ácido cítrico proporcionaram acumulação de P pelo milho por um maior período de tempo para ambas as fontes orgânicas e MAP. O ácido oxálico apresentou o mesmo efeito para a fonte orgânica compostada.

O MAP proporcionou os maiores acúmulos de matéria seca e de P na parte aérea de milho, em comparação às fontes menos solúveis fosfato de Bayóvar e fosfato de Arraias.

4 CAPÍTULO II

EFEITO DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS ENRIQUECIDOS COM ÁCIDO CÍTRICO NO CRESCIMENTO, ACUMULAÇÃO DE FÓSFORO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE MILHO EM CASA DE VEGETAÇÃO E EM CAMPO

4.1 Resumo

A aplicação direta de fosfatos naturais aos cultivos é um maneira de reduzir os custos de produção, entretanto, a quantidade de P liberada não é satisfatória para o crescimento inicial das plantas. A presença de matéria orgânica pode diminuir a adsorção e precipitação de P nos solos, pois sua decomposição produz ácidos orgânicos que competem com os sítios de adsorção de P. O ácido cítrico tem sido utilizado, com aplicação direta no solo, para bloquear os sítios de adsorção de P e aumentar a quantidade de P em na solução do solo. Nesse contexto foi avaliado o efeito do fertilizante organomineral (FOM) enriquecido com ácido cítrico no crescimento, acumulação de P e produtividade em plantas de milho em casa de vegetação e em campo, em Latossolo Vermelho distroférico. Os tratamentos compreenderam ácido cítrico (AC), cama de aviário in natura e duas fontes de P (superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural reativo de Bayóvar (FB)), totalizando 6 combinações (FB, cama + FB, cama + FB + AC, SFT, cama + SFT, cama + SFT + AC) e três doses de P_2O_5 (40, 80, 120 kg ha⁻¹), mais duas testemunhas, uma sem fósforo e outra sem nenhum nutriente, somando 20 tratamentos com 4 repetições. A adição de cama de aviário a uma fonte de P natural ou industrializada aumentou o acúmulo de matéria seca e P em plantas de milho em casa de vegetação. O FOM produzido com SFT proporcionou maiores matéria seca de parte aérea e raiz, e P acumulado na parte aérea. O AC adicionado ao FOM produzido com FB aumentou a acumulação de P na raiz de milho em casa de vegetação. A adição de cama de aviário em ambas as fontes de P aumentou a matéria seca e P acumulado na parte aérea do milho cultivado em campo, quando comparados à fonte de P pura. A adição de AC aumentou a matéria seca aos 35 dias após o plantio, para os fertilizantes produzidos com FB. O milho cultivado com FOM produzido com FB apresentou produtividade similar ao SFT puro. Conclui-se que a incorporação de matéria orgânica a uma fonte de fosfato natural causa efeito positivo na produtividade e que a adição de ácido cítrico proporciona uma aumento na matéria seca de raiz.

Palavras-chave: Fertilizante organomineral; Ácido cítrico; Cama de aviário; Fertilizantes fosfatados.

4.2 Abstract

The direct application of natural phosphate to crops is a way to reduce production costs, but the amount of P released is not satisfactory for the initial plant growth. The presence of organic matter can reduce the adsorption and precipitation of P in soil, since its decomposition produces organic acids that compete with the adsorption sites of P. Citric acid has been used, with direct application to the soil, to block the adsorption sites of P and to increase the amount of P in soil solution. In this context, the effect of organo-mineral fertilizer (FOM) enriched with citric acid on growth, yield and P accumulation of maize plants was evaluated in greenhouse and in the field in Oxisol. The treatments consisted of citric acid (AC), poultry litter in natura and two P sources (triple superphosphate (SFT) and reactive phosphate Bayóvar (FB)), totaling six combinations (FB, FB + poultry litter + AC + FB, SFT, SFT + poultry litter, poultry litter + SFT + AC) and three P levels (40, 80, 120 kg ha⁻¹), more two controls, one without P and other with no nutrient, totaling 20 treatments with 4 replicates. The addition of poultry litter to a source of natural or industrialized P increased the accumulation of dry matter and P in corn plants in greenhouse. The FOM produced with SFT resulted in higher dry matter of shoot and root, and P uptake in shoot. The AC added to the FOM produced with FB increased the accumulation of P in the root of corn in greenhouse. The addition of poultry litter at both P sources increased dry matter and P uptake in shoot of maize grown in the field, compared to the pure P source. The addition of AC increased the shoot dry matter at 35 days after planting, for fertilizers produced with FB. Maize grown with FOM produced with FB showed similar productivity to the pure SFT. It is concluded that the incorporation of organic matter to a natural phosphate source has a positive effect on the productivity and the addition of citric acid provides an increase in root dry matter .

Keywords: Organomineral fertilizer; Citric acid; Poultry litter; Phosphate fertilizers.

4.3 Introdução

Em condições extremas de intemperismo, como acontece em alguns Latossolos de cerrado, o solo é um forte dreno de P (NOVAIS & SMYTH, 1999). A adsorção de P ocorre devido a presença no solo de óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de Fe e Al que estão envolvidos diretamente na imobilização de P (LOPES & COX, 1979). A goethita é considerada a principal responsável pela adsorção de P nos solos do Cerrado (BAHIA FILHO et al., 1983; CURI & FRANZMEIER, 1984), sendo creditada à facilidade de acesso do ânion fosfato diácido aos grupos OH de superfície. Há, nesse caso, uma troca de ligantes: o H_2PO_4^- ocupa o sítio das hidroxilas (OH) previamente coordenadas ao Fe^{3+} , formando complexos de superfícies muito mais estáveis, e esse fenômeno é a principal causa da fixação de P em solos intemperizados (FROSSARD et al., 1994). Para tornar o solo fonte, são necessárias grandes quantidades de fertilizantes fosfatados.

Os fertilizantes fosfatados mais utilizados na agricultura apresentam altos teores de P solúvel para fornecerem o nutriente rapidamente às plantas, mas sua fabricação exige alto consumo de energia e S na forma de ácido sulfúrico, uma matéria prima importada, elevando assim o custo final de sua produção (BRASIL & MURAOKA, 1997). Embora a aplicação direta de fosfatos naturais possa ser um meio de baixo custo de fornecimento de P, em muitos casos a pequena quantidade de P liberada em curto prazo não é satisfatória para o crescimento inicial das plantas, em particular em cultivos anuais de rápido crescimento (NOVAIS et al., 2007).

São produzidos mais de produz mais de 500 milhões de toneladas por ano de subprodutos e resíduos agroindustriais na América Latina, sendo o Brasil responsável por mais da metade dessa produção, onde destaca-se a cama de aviário. Segundo Roccon (2014) a produção brasileira de resíduos derivados da cadeia produtiva de aves foi de 27 milhões de toneladas, composto basicamente por palha de arroz ou maravalha, e por restos de ração, penas e excretas das aves. Uma das formas adequadas de aproveitamento desse material é a sua utilização como adubo, alimentação animal, como substrato para fermentações, como cobertura do solo e como matéria-prima para a agroindústria.

A presença de matéria orgânica pode diminuir as perdas de P no solo, ocasionadas pelos processos de adsorção e de precipitação. Quando o solo recebe matéria orgânica, esse pode adsorver com grande energia ácidos orgânicos produzidos pela decomposição, que competem com os sítios de adsorção de P, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas (HAYNES, 1984; NOVAIS et al., 2007). Araújo (2011) avaliou o efeito do lodo de curtume associado à fosforita (fosfato natural) sobre a disponibilização de P e correção do solo, verificando um maior rendimento do milho pela incorporação da fosforita associada ao lodo de curtume natural e compostado.

Os ácidos orgânicos, em geral, são rapidamente mineralizados no solo (IYAMUREMYE & DICK, 1996). A aplicação de resíduos orgânicos ocasiona uma reposição contínua desses ácidos, além da produção pelas raízes através da exsudação e pelo metabolismo de microorganismos, o que mantém o processo de bloqueio dos sítios de adsorção por um período de tempo maior (GUPPY et al., 2005).

A aplicação de ácido cítrico diretamente no solo, em áreas cultivadas com café na Índia, mostrou uma série de vantagens da aplicação desta substância, dentre elas: não acidifica o solo; ajuda a solubilizar o P; reduz a precipitação que ocorre entre Zn e P; suprime a atividade via complexação de elementos tóxicos como Al, Fe e Mn; aumenta a disponibilidade de K e Zn aplicados via solo; ajuda a reduzir a taxa de aplicação de P no desenvolvimento da cultura e aumentos na produtividade em torno de 5 a 7% (JAYARAMA et al., 1998).

Ácidos orgânicos de ocorrência normal em solos, devido à incorporação de matéria orgânica, tais como málico, láctico, fórmico, acético, oxálico, tartárico e cítrico, foram adicionados a amostras de solos de diferentes composições mineralógicas e diferentes teores de C, afim de avaliar a solubilização de P (BOLAN et al., 1994). Houve decréscimo na adsorção de P em presença dos ácidos, com conseqüente aumento simultâneo da solubilização do fosfato monocálcico ou rocha fosfática, sendo que a eficiência agrônômica foi maior para a rocha fosfática, indicando que os ácidos orgânicos aumentam a disponibilidade de P nos solos principalmente através da redução da adsorção e aumento na solubilização dos compostos de P (BOLAN et al., 1994). Stevenson (1994) e Guppy et al. (2005) afirmam que a distribuição das cargas nestes tipos de ácidos favorece a interação com a fração mineral do solo, facilitando a formação de quelatos e neutralizando de forma mais estável, os sítios de adsorção de P do solo. A mineralização destes ácidos é dificultada pelo fato de que a adsorção dos mesmos em hidróxidos de Fe diminui sua degradação (GEELHOED et al., 1999).

Nesse contexto, a produção de fertilizantes organominerais granulados resultantes da associação de uma fonte de matéria orgânica com fosfato natural, pode não apenas diminuir a capacidade máxima de adsorção de P do solo, como também aumentar a disponibilidade de P por meio da solubilização do fosfato natural pelos ácidos orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica. Ainda neste sentido, seria interessante enriquecer os fertilizantes organominerais com ácido orgânico de baixo peso molecular, a fim de acelerar o processo de bloqueio dos sítios imobilizadores de P, disponibilizando por mais tempo este nutriente para a planta.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de fertilizantes organominerais fosfatados, produzidos com cama de aviário in natura e fontes minerais de P (superfosfato triplo e fosfato natural reativo de Bayóvar) com adição de ácido cítrico na produção de matéria seca, acumulação de P e rendimento de milho em experimento em casa de vegetação e campo. A intenção de se utilizar cama de aviário in natura e ácido cítrico se deu pelo fato de que ambas possuem valores menores de aquisição, reduzindo assim o custo final do fertilizante organomineral produzido.

4.4 Material e Métodos

4.4.1 Preparação dos fertilizantes

As formulações de fertilizantes utilizadas nos experimentos foram produzidas no laboratório de granulação de fertilizantes, localizado na Universidade de Rio Verde, situada na fazenda Fontes do Saber, município de Rio Verde- GO. Para a produção dos fertilizantes foi utilizado como fonte orgânica cama de aviário in natura, composta basicamente por palha de arroz e excrementos de aves, coletada de aviário localizado no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. As fontes de P utilizadas foram: fosfato natural de Bayóvar, fonte de fosfato natural proveniente da região de Sechura, Peru e o superfosfato triplo, uma fonte de P industrializado comumente utilizado na agricultura. O teor de nutrientes presentes em cada fonte foram analisados no Laboratório de análise de solos e material vegetal da Universidade de Rio Verde, e são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Composição química das fontes utilizadas para produção dos fertilizantes.

Fertilizantes	P ₂ O ₅ total (%)	P ₂ O ₅ em ácido cítrico (%)
Cama de aviário	2,86	n.d.
Fosfato natural de Bayóvar	29,34	14,23
Superfosfato triplo (SFT)	48,40	n.d.

n.d.: não determinado.

Após a coleta, a cama de aviário in natura foi seca ao ar, pulverizada utilizando-se moinho marca KDS-micronex, modelo S3 e acondicionada separadamente em tambores plásticos de 100 L, para evitar o ganho de umidade.

Neste experimento definiu-se o trabalho como fonte mineral o superfosfato triplo devido ao fato de que o mesmo possui alto teor de fósforo, tendo como único inconveniente a prévia pulverização do mesmo para incorporação na cama de aviário.

As quantidades de cama de aviário e superfosfato triplo foram definidas a partir das fórmulas a seguir, visto que cada formulação de fertilizante organomineral deveria possuir 18% de fósforo total. Este valor de 18% para padronizar o produto final, visto que há variações no teor de P na cama de aviário utilizada devido à sua origem.

$$(1) \quad m_{(f.o.)} = \frac{m_{\text{final}}}{X + 1}$$

$$(2) \quad X = \frac{\% P_2O_{5\text{final}} - \% P_2O_{5(f.o.)}}{\% P_2O_{5(f.m.)} - \% P_2O_{5\text{final}}}$$

$$(3) \quad m_{(f.m.)} = m_{\text{final}} - m_{(f.o.)}$$

Onde: % $P_2O_{5\text{final}}$ = porcentagem de fósforo total desejada no fertilizante organomineral; % $P_2O_{5(f.o.)}$ = porcentagem de fósforo total na fonte orgânica; % $P_2O_{5(f.m.)}$ = porcentagem de fósforo total na fonte mineral; m_{final} = quantidade de fertilizante a ser produzida; $m_{(f.o.)}$ = massa necessária da fonte orgânica; e $m_{(f.m.)}$ = massa necessária da fonte mineral.

O material orgânico e o material inorgânico (fosfato natural reativo de Bayóvar e SFT), previamente secos em estufa a 65 °C por 12 horas, foram peneiradas em peneira granulométrica ASTM 35 para a retirada de partículas maiores e manter a uniformidade da fonte. Logo após o peneiramento as misturas calculadas para cada fertilizante foram colocadas em um liquidificador industrial, juntamente com quantidade de ácido cítrico equivalente a 50 mmol kg⁻¹ e homogeneizada por 10 minutos. Após a homogeneização a mistura foi levada ao granulador de fertilizantes e os grânulos foram preparados a uma velocidade de 60 rpm com inclinação do prato de 40°. Os grânulos foram secos ao ar por 2 horas e posteriormente em estufa por 48 horas a 65 °C. Após a secagem, utilizando-se de peneira granulométrica (ASTM 5,10 e 18) o material foi dividido em frações de 0-1 mm, 1-2 mm e 2-4 mm e acima de 4 mm e acondicionados em recipientes plásticos. Foram utilizadas para a implantação do experimento em casa de vegetação apenas os grânulos com dimensões entre 1-2 mm.

O teor de P_2O_5 total em cada fertilizante foi determinada através análise química pelo método de digestão nitroperclórica de acordo com Embrapa (2009) no laboratório de análises químicas de solos e material vegetal da Universidade de Rio Verde e são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Teores de fósforo total presentes em cada fonte de fósforo utilizada para a montagem dos experimentos de campo e em casa de vegetação.

Fertilizante	P_2O_5 total (%)
SFT - superfosfato triplo	48,40
B - Fosfato natural reativo de Bayóvar	29,34
CS - Cama de aviário + superfosfato triplo	15,84
CSA - Cama de aviário + superfosfato triplo + ácido cítrico	16,46
CB - Cama de aviário + Bayóvar	16,50
CBA - Cama de aviário + Bayóvar + ácido cítrico	18,65

4.4.2 Experimento em casa de vegetação

4.4.2.1 Delineamento experimental

O experimento teve início no dia 17 de novembro de 2013 e foi realizado em casa de vegetação, localizada no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial $6 \times 3 + 1 + 1$, combinando seis fontes de P, três doses de P (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O_{5total}), tratamento controle sem P e um contraste com quantidade zero de nutrientes, com quatro repetições, totalizando 80 parcelas experimentais. As seis fontes de P utilizadas foram: superfosfato triplo (SFT), fosfato natural reativo de Bayóvar (B), cama de aviário + SFT (CS), cama de aviário + fosfato reativo de Bayóvar (CB), cama de aviário + SFT + ácido cítrico (CSC), cama de aviário + fosfato reativo de Bayóvar + ácido cítrico (CBC).

4.4.2.2. Implantação do experimento

O solo do tipo Argissolo Vermelho Distroférico foi coletado em uma profundidade de 0-20 cm de área experimental situada no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, na mesma área utilizada para implantação do experimento em campo, sendo que para cada bloco em casa de vegetação foi coletado solo do mesmo bloco em campo. Este solo foi escolhido por conter baixas quantidades de nutrientes, principalmente P, resultado comprovado através de análise de solo realizada no laboratório de análise de solo e material vegetal da Universidade de Rio Verde, conforme Tabela 13.

Tabela 13. Análise do solo de cada bloco, antes da implantação do experimento em campo e, em casa de vegetação

Bloco	P	M.O.	pH	S	T	V	Argila	Silte	Areia
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	em água	mmolc dm ⁻³			%		
1	2,70	49,11	5,49	3,62	11,21	32,29	43,01	12,50	44,49
2	3,25	47,03	5,37	3,53	11,03	32,00	42,85	11,98	45,17
3	1,93	45,22	5,35	2,97	10,40	28,56	43,12	11,97	44,91
4	2,03	44,44	5,34	4,50	11,59	38,83	42,56	12,32	45,12

S = Soma das bases; T = Capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases.

O solo foi inicialmente homogeneizado e sua umidade e capacidade de campo determinadas conforme Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos (MAPA, 2007). Posteriormente foram pesadas 80 alíquotas de 5,38 kg e estas foram colocadas em vasos de plástico flexível com capacidade para 5 kg de solo não havendo necessidade de correção de acidez.

Foram adicionadas em cada tratamento quantidades equivalentes a 150 e 80 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e K na forma de cloreto de potássio, sendo que o N foi adicionado em três doses de 50 kg ha⁻¹ no plantio e duas doses de 50 kg ha⁻¹ aos 15 e 30 dias respectivamente após a germinação. A quantidade de P adicionado para cada tratamento foi estipulada com nos resultados da análise de cada fertilizante, respeitando os valores de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os valores de N, P e K foram estabelecidos como sendo a quantidade de nutriente por planta, considerando um plantio em campo possuindo 3,5 plantas de milho por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,45 m. As quantidades utilizadas para cada nutrientes são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Quantidades de N, P e K utilizados em cada vaso no experimento em casa de vegetação

Tratamento	Fósforo			Nitrogênio*			Potássio		
	Doses equivalentes (g planta ⁻¹)								
	40 kg/ha	80 kg/ha	120 kg/ha	40 kg/ha	80 kg/ha	120 kg/ha	40 kg/ha	80 kg/ha	120 kg/ha
SFT Superfosfato Triplo	1,24	2,48	3,72	5,1	5,1	5,1	2,00	2,00	2,00
B Fosfato natural reativo de Bayóvar	2,04	4,08	6,12	5,1	5,1	5,1	2,00	2,00	2,00
CS Cama de aviário + Superfosfato Triplo	3,79	7,57	11,36	5,1	5,1	5,1	2,00	2,00	2,00
CSA Cama de aviário + Superfosfato Triplo + Ácido Cítrico	3,65	7,29	10,94	5,1	5,1	5,1	2,00	2,00	2,00
CB de aviário + Bayóvar	3,63	7,27	10,90	5,1	5,1	5,1	2,00	2,00	2,00
CBA- Cama de aviário + Bayóvar + Ácido Cítrico.	3,22	6,44	9,66	5,1	5,1	5,1	2,00	2,00	2,00

*Valor referente à dose total (dividida em 3 aplicações).

Os fertilizantes foram colocados em sulcos longitudinais feitos manualmente no solo dos vasos, até a profundidade de 6 cm, onde foram aplicados os tratamentos com posterior recobrimento com solo. Em seguida, três sementes de milho (*Zea mays* L.), cultivar sementes Geneze GNZ 9501 PRO, foram semeadas a 2 cm de profundidade. Aos oito dias após o plantio (DAP), foi realizado o desbaste, mantendo-se uma planta por vaso.

Após 49 dias da germinação, a parte aérea de cada tratamento foi cortada e seca em estufa com circulação de ar a 65 °C por 72 horas, pesada e triturada em moinho de facas tipo Wiley e armazenada em sacos de papel. O solo dos vasos foi lavado com água corrente a fim de se recolher o sistema radicular. As raízes coletadas forma secas ao ar e posteriormente em estufa com circulação de ar a 65 °C por 72 horas, pesadas e trituradas em moinho de facas tipo Wiley e armazenadas em sacos de papel. Foram realizadas análise do teor de P no material vegetal (parte aérea e raiz) coletado de cada vaso, de acordo com Manual de Análises Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes (Embrapa, 2009).

4.4.3 Experimento de campo

4.4.3.1 Delineamento experimental

O experimento teve início no dia 17 de novembro de 2013 e foi realizado em área experimental de 0,5 ha, localizada no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 6x3+1+1 com 4 repetições, cominando seis fontes de P, três doses (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), um tratamento controle sem P e um contraste com quantidade zero de nutrientes, totalizando 20 tratamentos e 80

parcelas experimentais. As seis fontes de P utilizadas foram: superfosfato triplo (SFT), fosfato natural reativo de Bayóvar (B), cama de aviário + SFT (CS), cama de aviário + fosfato reativo de Bayóvar (CB), cama de aviário + SFT + ácido cítrico (CSC), cama de aviário + fosfato reativo de Bayóvar + ácido cítrico (CBC).

4.4.3.2 Implantação do experimento

A área experimental foi preparada de maneira convencional com gradeamento, uma vez por semana, durante 3 semanas. Na véspera do plantio foi realizado nivelamento e riscagem do solo com plantadeira de quatro linhas. As parcelas, com 18 m² cada, possuíam oito linhas de 5 m de comprimento com espaçamento entre linhas de 0,45 m.

Foram realizadas análises do solo em cada bloco para verificar se não havia grandes variações nos teores de nutrientes, pois no ano anterior foi implantado um experimento com alto teor de nutrientes adicionados ao solo.

O solo do tipo Argissolo Vermelho Distroférico foi escolhido por conter baixas quantidades de nutrientes, principalmente P e não necessitar de correção de acidez, resultado comprovado através de análise de solo realizada no laboratório de análise de solo e material vegetal da Universidade de Rio Verde, Rio Verde, Goiás, conforme Tabela 13.

Foram adicionadas em cada tratamento quantidades equivalentes a 150 e 80 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e K₂O na forma de cloreto de potássio, sendo que o N foi adicionado em três doses, sendo 1/3 na linha e duas doses de 1/3 cada no aparecimento da 6^a e 12^a folhas. A quantidade de P adicionado para cada tratamento foi estipulada com base nos resultados da análise de cada fertilizante, respeitando os valores de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os valores utilizados para cada nutrientes por linha de cada tratamento são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Valores de N, P e K utilizados em cada linha de cada tratamento em experimento de campo.

Tratamento	Fósforo			Nitrogênio*			Potássio		
	Doses equivalentes (g por linha de P ₂ O _{5total})								
	40 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	120 kg/ha	40 kg/ha	80 kg/ha	120 kg/ha	40 kg/ha	80 kg/ha	120 kg/ha
SFT	18,6	37,2	55,8	75,0	75,0	75,0	30,0	30,0	30,0
B	30,68	61,35	92,04	75,0	75,0	75,0	30,0	30,0	30,0
CS	56,8	113,6	170,5	75,0	75,0	75,0	30,0	30,0	30,0
CSA	54,68	109,36	164,0	75,0	75,0	75,0	30,0	30,0	30,0
CB	54,5	109,0	163,5	75,0	75,0	75,0	30,0	30,0	30,0
CBA	48,3	96,5	144,8	75,0	75,0	75,0	30,0	30,0	30,0

*Valor referente à dose total (dividido em 3 aplicações).

Os fertilizantes foram colocados manualmente no sulco com posterior incorporação ao solo com enxada. A semeadura foi feita manualmente, com a adição de 18 sementes por metro de milho (*Zea mays* L.), cultivar sementes Geneze GNZ 9501 PRO.

Logo após o plantio, foi aplicado herbicida glifosato na dose recomendada pelo fabricante e, aos 30 dias após o plantio foi realizada capina manual para eliminação das plantas residuais.

4.4.3.3 Coleta de material vegetal

Aos 21, 35, 49 e 63 dias após a emergência foram coletadas, com auxílio de uma pá reta, três plantas de cada parcela, de acordo com a Figura 3. As raízes foram separadas da parte aérea com auxílio de uma cegueta e as partes foram acondicionadas em sacos plásticos. Aos 63 dias foi coletada também a folha bandeira para determinar o estado nutricional das plantas.

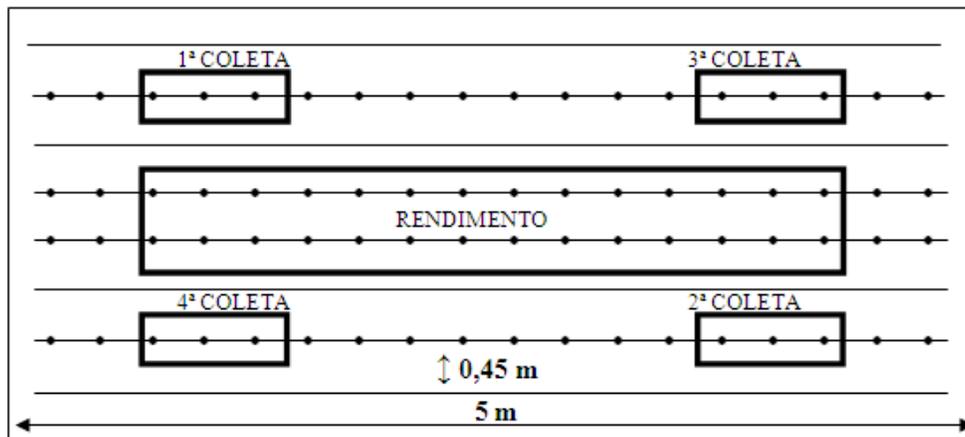


Figura 3. Localização dentro de cada parcela das plantas coletadas

As raízes foram lavadas em água corrente até a eliminação do solo, secas ao ambiente e posteriormente em estufa com circulação forçada de ar por 72 horas a 65 °C e pesadas. Para a determinação da matéria seca da parte aérea, logo após a coleta, as plantas foram pesadas e, cerca de 1/3 da parte central das plantas foram cortadas, pesadas e secas em estufa com circulação de ar forçada por 72 horas a 65 °C. Após a secagem, o material de raízes e parte aérea foi triturado em moinho de facas tipo Wiley e o teor de P determinado pelo método de extração com HCl 0,1 mol L⁻¹, no laboratório de solos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, de acordo com Silva (2009).

Aos 105 dias após a emergência foi feita a última coleta de material vegetal, onde foram coletadas todas as espigas das plantas localizadas na quarta e quinta linhas (Figura 1), desconsiderando 0,5 m de bordadura em cada uma das extremidades da parcela, totalizando 3,6 m² de área útil. Foram também coletadas três plantas completas para a mensuração da matéria seca e do teor de P, cujo procedimento foi idêntico ao das coletas anteriores. As espigas foram debulhadas manualmente e os sabugos foram secos em estufa com circulação de ar forçada por 72 horas a 65 °C e pesados. Os grãos foram secos ao ar durante dois dias sobre sacos de semente e pesados. A umidade dos grãos foi determinada no laboratório de sementes da Universidade de Rio Verde, utilizando Medidor de Umidade marca Motomco Modelo 999-FB. Para o cálculo de rendimento foi considerado como umidade final do grão de 13%. Posteriormente à determinação da umidade, cerca de 200 g de grãos de cada parcela foram secos em estufa a 105 °C por 72 horas para a eliminação de toda a umidade. Após a secagem, as raízes, parte aérea, sabugo e grão foram triturados em moinho de facas tipo Wiley e o teor de P determinado pelo método de extração com HCl 0,1 mol L⁻¹, no laboratório de solos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, de acordo com Silva (2009).

4.4.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos em cada época de coleta foram submetidos à análise de variância, considerando um fatorial duplo entre fontes de P e doses de P (Tabela 1, Apêndice B). A comparação das médias das fontes de P foi feita pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). A avaliação do efeito das doses de P foi efetuada através de regressão linear, sendo ajustadas curvas de regressão com as doses de P como variável independente, incluindo-se as parcelas testemunhas como a dose 0 de P. Foram testados os modelos linear e quadrático, sendo escolhido o modelo que apresentou a melhor relação entre os níveis de significância e R^2 .

4.5 Resultados e Discussão

4.5.1 Experimento em casa de vegetação

A análise de variância dos parâmetros de matéria seca da parte aérea e raiz, teor de P, P acumulado e P acumulado total na matéria seca da parte aérea e raiz e para o experimento em casa de vegetação encontra-se nas Tabelas 1 e 2, do Apêndice B. Os resultados mostram que houve diferenças significativas entre as fontes de P, as doses de P e na interação entre as fontes de P e doses. Observa-se também que os tratamentos foram significativamente maiores em todas as doses em relação à testemunha e que as plantas cultivadas sem nenhum tipo de nutriente não apresentaram diferença em relação à testemunha, apesar de os valores de matéria seca de parte aérea e raiz e de P acumulado na parte aérea e raiz apresentarem valores superiores em relação à testemunha onde houve supressão apenas de P, conforme observado na Tabela 16.

A Tabela 16 apresenta os dados de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação aos 49 dias após a emergência. Foram observados maiores valores para os fertilizantes organominerais produzidos com cama de aviário e superfosfato triplo e cama de aviário e superfosfato triplo com adição de ácido cítrico, não havendo diferença entre ambos, para a matéria seca de parte aérea e raiz. Os resultados estão de acordo com Levrero (2009), que cita como um dos benefícios da aplicação do fertilizante organomineral um melhor desenvolvimento radicular. Teixeira (2011) atribui à utilização de fertilizante organomineral o aumento de 20% na produção de matéria seca da parte aérea de milho, devido a que a matéria orgânica exerce diminuição da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) no solo, em função da competição pelos sítios de adsorção que, por sua vez, aumenta a disponibilidade de P no solo.

Para o P acumulado, verificou-se que na parte aérea as plantas cultivadas com fertilizante organomineral produzido com fonte de P industrializada (supertriplo) apresentaram os maiores valores e a adição de ácido cítrico apresentou efeito significativo apenas para o fertilizante produzido com fosfato reativo de Bayovar. Isto foi explicado por Sanyal & De Datta (1991) pelo fato de que a matéria orgânica possui caráter aniônico, possibilitando a formação de pontes de cátions com o Al, Fe e Ca a ela adsorvidos, e, por meio dessas pontes, o P seria adsorvido. Resultados de Villapando & Graetz (2001) sugeriram que o P adicionado ao solo seria em parte associado à matéria orgânica, provavelmente por intermédio de cátions metálicos como Fe e Al. Kiehl (2013) afirmou que o fertilizante organomineral apresenta potencial químico reativo relativamente inferior ao fertilizante mineral, porém sua solubilização é gradativa no decorrer do período de desenvolvimento da cultura, quando sua eficiência agrônômica pode se tornar maior se comparado às fontes minerais solúveis. Esta afirmação sugere que a decomposição da cama de aviário associada ao

ácido cítrico disponibilizou uma maior quantidade de P para a planta em um momento posterior, ocasionando um acúmulo de P nas raízes que não foi transferido para a parte aérea.

Tabela 16. Matéria seca de parte aérea e de raiz, e P acumulado na parte aérea, raiz e na planta toda, de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Fonte de variação	Matéria seca de parte aérea (g vaso ⁻¹)	Matéria seca de raiz (g vaso ⁻¹)	P acumulado na parte aérea (mg)	P acumulado na raiz (mg)	P acumulado total (mg)
Controles					
Sem nutriente	19,77	7,08	25,66	3,38	29,04
Sem P	12,17	5,27	17,96	1,96	19,92
Fonte de P					
B (Bayóvar)	38,85 bc	13,49 bc	47,87 b	8,28 bc	56,14 b
CB (Cama de aviário + Bayóvar)	38,69 bc	13,64 bc	44,10 b	9,83 b	53,93 b
CBA (Cama + Bayóvar + ácido cítrico)	35,11 c	13,78 bc	42,20 b	12,50 a	54,70 b
S (supertriplo)	34,36 c	11,24 c	47,44 b	6,43 c	53,87 b
CS (Cama + supertriplo)	44,01 a	17,65 a	57,65 a	8,69 b	66,34 a
CSA (Cama + supertriplo + ácido cítrico)	42,35 ab	15,55 ab	57,23 a	8,88 b	66,11 a
Dose de P (kg ha⁻¹)					
40	29,31	11,27	39,02	6,34	45,36
80	41,53	14,74	52,46	9,04	61,51
120	45,84	16,67	56,77	11,91	68,68

Valores das fontes de P correspondem à média de três doses de P; valores das doses de P correspondem à média de seis fontes de P. Letras comparam os tratamentos na coluna pelo teste de Tukey a 5%.

A análise de variância (Tabela 1 do apêndice B) mostrou que a interação as fontes e as doses de P foram significativas para os parâmetros: matéria seca de parte aérea, matéria seca de raiz, P acumulado na parte aérea, P acumulado na raiz e P acumulado total. Os desdobramentos desta interação são apresentados na Tabela 2 do apêndice B.

Ao utilizar uma dose de 40 kg ha⁻¹ observa-se pelo desdobramento que a matéria seca da parte aérea das plantas tratadas com CB, CS e CSA não diferiram estatisticamente entre si, assim como o B, CB e CBA foram significativamente semelhantes. Por outro lado o tratamento S diferiu estatisticamente dos tratamentos CB, CS e CSA (Tabela 2, Apêndice B).

Quando se utilizou a dose de 80 kg ha⁻¹ não se observa diferenças estatísticas para a matéria seca, entre os tratamentos. Já quando se utilizou uma dose de 120 kg ha⁻¹ observa-se que não houve diferença significativa na matéria seca da parte aérea nos tratamentos S, CS e CSA, havendo diferenças estatísticas nos tratamentos CBA, CS e CSA, sendo o tratamento CBA inferior a todos.

Observando o efeito das doses dentro de cada tratamento, constata-se que ao utilizar o B, as doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ não diferem estatisticamente entre si (Tabela 2, Apêndice B). O mesmo ocorre para os tratamentos CB e CBA. Quando se utiliza o S ou CSA constata-se que a dose de 120 kg ha⁻¹ difere estatisticamente de todas as outras e a dose de 80 kg ha⁻¹ é significativamente inferior à de 120 e superior a de 40 kg ha⁻¹. No tratamento CS apenas a dose de 120 kg ha⁻¹ foi estatisticamente diferente das outras, mostrando-se superior (Tabela 2, Apêndice B).

Ao analisar a matéria seca de raiz observa-se que para os tratamentos utilizando fosfato reativo de Bayóvar não houve diferença entre os tratamentos dentro de cada dose e que os tratamentos com 80 e 120 Kg.ha⁻¹ apresentaram resultados melhores que os tratamentos de 40 kg ha⁻¹, não havendo diferença entre ambos. Já para os tratamentos utilizando superfosfato triplo (SFT) nota-se que a adição de uma fonte orgânica favoreceu o aumento da matéria seca de raiz em todas as doses utilizadas, porém, nas doses de 80 e 120 Kg há⁻¹ não houve diferença estatística entre os tratamentos com SFT e SFT enriquecido com cama e ácido, sendo que os melhores resultados foram apresentados pela dose de 80 Kg há⁻¹. Em uma análise geral observa-se que em doses baixas há uma maior produção de matéria seca de raiz de plantas tratadas com o fertilizante organomineral produzido com SFT e à medida que a dose aumenta está predominância desaparece e as plantas tratadas com FOM produzem matéria seca de raiz sem diferenças estatísticas (Tabela 2, Apêndice B).

Para o P acumulado na parte aérea, nota-se que na dose de 40 kg ha⁻¹ os maiores resultados foram encontrados para o CS e o CSA, sendo que estes são superiores a B e CB e estatisticamente maiores que CBA e S que apresentaram os menores resultados. Já na dose de 80 kg ha⁻¹ não houve diferença significativa entre os tratamentos e na dose de 120 kg ha⁻¹ os maiores resultados foram para os tratamentos S, CS, CSA, sendo estes estatisticamente superiores aos tratamentos BCB e CBA. Quando se analisa o efeito das doses dentro de cada tratamento, nota-se que para o B o maior resultado encontrado foi para a dose de 80 kg ha⁻¹, enquanto que o CB apresentou valores estatisticamente iguais nas 3 doses utilizadas. Já CBA e S apresentaram valores estatisticamente superiores nas doses de 80 e 120 kg ha⁻¹, enquanto que CS e CSA apresentaram os maiores resultados na dose de 120 kg ha⁻¹ e o CS na dose de 40 kg ha⁻¹ apresentou o menor resultado dentre todos os tratamentos (Tabela 2, Apêndice B).

A acumulação de P nas raízes das plantas dentro da dose de 40 kg ha⁻¹ apresentou resultados significativamente semelhantes para B, CB, CBA, CS e CSA, assim como B, CB, S, CS e CSA são significativamente semelhantes; entretanto, o maior resultado foi para o tratamento CBA. Para a dose de 80 kg ha⁻¹ o tratamento CBA apresentou o maior resultado, sendo estatisticamente semelhante a CS e CSA. Estes por sua vez, são significativamente semelhantes a B, CB, CBA e S, sendo que S apresentou o menor resultado dentre todos. Na dose de 120 kg ha⁻¹ o maior resultado foi para o tratamento CBA, que foi significativamente semelhante a CB que, por sua vez foi semelhante a B. Os tratamentos B, S, CS e CSA não diferem estatisticamente entre si, sendo que o tratamento S foi o que apresentou o menor resultado. Quando foi analisado o efeito das doses dentro cada tratamento, observou-se que os maiores resultados foram obtidos quando se utilizou uma dose de 120 kg ha⁻¹ de fertilizante fosfatado para todos os tratamentos e também para os tratamentos CS e CSA nas doses de 80 kg ha⁻¹ e CSA na dose de 40 kg ha⁻¹. Os menores valores encontrados foram para os tratamentos e CBA na dose de 40 kg ha⁻¹ (Tabela 2, Apêndice B).

O P acumulado total, na dose de 40 kg ha⁻¹ mostra que B, CB, CS e CSA não diferem entre si estatisticamente, do mesmo modo, B, CB, CBA e S não apresentam diferenças significativas. S apresentou o menor resultado dentre os tratamentos, sendo semelhante estatisticamente a B, CB, e CS. O maior resultado apresentado foi para o tratamento CS. Para a dose de 80 kg ha⁻¹ o melhor tratamento foi CS, sendo que este apresentou semelhança estatística com os demais tratamentos, exceto CB que apresentou o menor resultado, sendo estatisticamente semelhante aos demais tratamentos, exceto CS. Já na dose de 120 kg ha⁻¹ os maiores resultados foram para os tratamentos que utilizaram como fonte mineral o SFT, sendo todos estatisticamente semelhantes, enquanto que os tratamentos que utilizaram fosfato de Bayóvar como fonte mineral diferem estatisticamente dos tratamentos com SFT, sendo semelhante apenas com S.

Ao analisar o efeito das doses dentro de cada tratamento, observa-se que a dose de 40 kg ha⁻¹ foi a que apresentou a menor acumulação de P para todos os tratamentos, enquanto

que a dose de 120 kg ha⁻¹ apresentou o melhor resultado. Entretanto, os tratamentos B, CB, CBA e S na dose de 80 kg ha⁻¹ apresentaram resultados semelhantes aos encontrados para a dose de 120 kg ha⁻¹. Os tratamentos CS e CSA apresentaram variações estatísticas entre as doses utilizadas, sendo que o maior resultado encontrado foi para dose de 120 kg ha⁻¹.

Observa-se que houve aumento de matéria seca (figura 4.1 e 4.2) e P acumulado na raiz (figura 7.1 e 7.2) em função das doses aplicadas, sendo que, quanto maior a dose, maiores os valores encontrados, independente da fonte mineral utilizada. Já para P acumulado na parte aérea (Figura 5.1) utilizando como fonte mineral fosfato natural reativo de Bayóvar e para matéria seca de raiz (figura 12.2), utilizando superfosfato triplo como fonte mineral, observa-se que para as doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ não houve diferença significativa.

Quando se utilizou uma fonte mineral altamente solúvel (SFT), verificou-se efeito significativo para a dose de 40 kg ha⁻¹ para os fertilizantes organominerais em relação a fonte mineral pura e esse efeito foi menos significativo quando se aumentou a dose utilizada. Este fato pode ser explicado pelo aumento da quantidade de P disponível para as plantas durante o ciclo produtivo. Zebarth et al. (2012) relataram que a adição de fertilizante mineral ao esterco durante a produção do fertilizante organomineral aumentou a concentração de nutrientes, demandando menores taxas de aplicação no campo e que essas adições também aumentam a uniformidade nas concentrações e disponibilidade de nutrientes no produto final. Esta afirmação está de acordo com resultados encontrados para a acumulação de P na parte aérea de plantas cultivadas utilizando SFT como fonte mineral (Figura 5.2), que mostram o melhor resultado para a incorporação de cama de aviário a uma fonte mineral com a dose de 40 kg ha⁻¹, onde houve efeito significativo para a mistura. Quando se aumenta a dose há efeito na acumulação de P, porém não difere significativamente da fonte mineral pura. Portanto, observa-se que a adição de cama de aviário causou efeito positivo na acumulação de matéria seca e de P acumulado na parte aérea durante o ciclo para doses menores e que a adição de ácido cítrico não causou efeito em ambas fontes de variação.

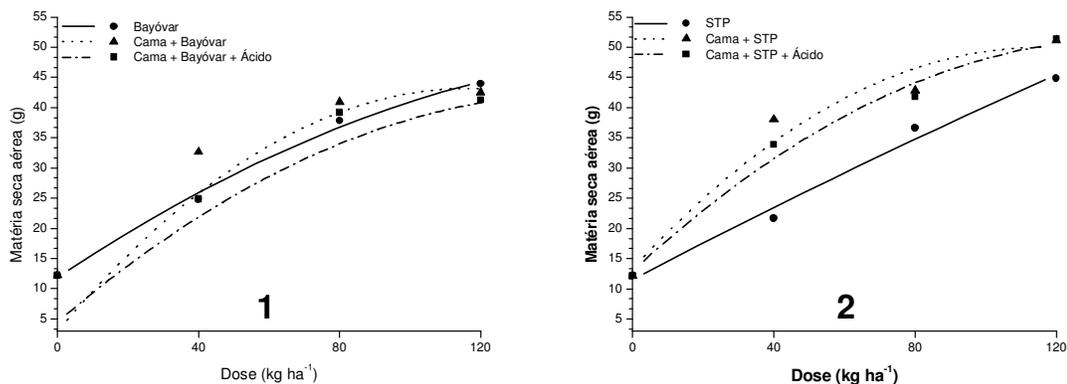


Figura 4. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico, em quatro doses de P₂O₅ (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹).

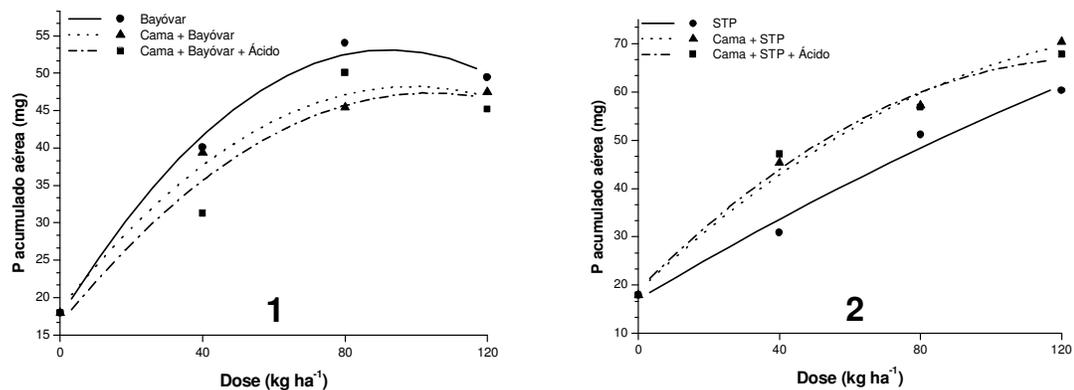


Figura 5. Acúmulo de P na parte aérea de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico, em quatro doses de P_2O_5 (0, 40, 80 e 120 kg ha^{-1}).

A adição de cama de aviário à fonte mineral SFT foi superior para produção de matéria seca de raiz em todas as doses quando comparada com a fonte mineral pura (figura 6.2), sendo este resultado mais significativo na dose de 40 kg ha^{-1} , onde o fertilizante organomineral com SFT apresentou maiores valores que todos os tratamentos analisados, corroborando com os resultados de Teixeira (2011). Os fertilizantes organominerais produzido com fosfato de Bayóvar não apresentaram diferenças significativas para nenhum tratamento e as doses de 80 e 120 kg ha^{-1} foram semelhantes e superiores à dose de 40 kg ha^{-1} . Não foram observados resultados significativos para a adição de ácido cítrico no acúmulo de matéria seca de raiz em todos os tratamentos.

A Figura 7 mostra um aumento na acumulação de P nas raízes das plantas independentemente da fonte de P utilizada. Para o fertilizante produzido utilizando como fonte de P o SFT (figura 7.2), observa-se um incremento na acumulação de P para todas as doses utilizadas, entretanto, não houve diferença significativa entre tratamentos. Os maiores resultados de média foram para os fertilizantes organominerais (cama + SFT e cama + SFT + ácido), sugerindo que a incorporação de uma fonte orgânica à fonte de P aumenta a disponibilização de P. Quando se comparam as doses estudadas, observa-se que a adição de fonte orgânica ao SFT (cama + SFT) indica que a dose de 80 kg ha^{-1} é significativamente igual à dose de 120 kg ha^{-1} de SFT puro, estando de acordo com Araújo (2011) e Novais et al. (2007). Este fato sugere que é necessário uma dose menor de fertilizante organomineral para se obter o mesmo resultado na acumulação de P na raiz de plantas. Este fato também é observado quando se compara o fertilizante organomineral com adição de ácido cítrico (cama + SFT + ácido), na dose de 40 kg ha^{-1} com o fertilizante organomineral convencional na dose de 80 kg ha^{-1} (cama + SFT). A aplicação de resíduos orgânicos ocasiona uma reposição contínua desses ácidos, além da produção pelas raízes através da exsudação e pelo metabolismo de microorganismos, o que mantém o processo de bloqueio dos sítios de adsorção por um período de tempo maior (GUPPY et al., 2005). Os dados mostram sugerem que a adição de ácido cítrico reduziria a dose necessária de fertilizante fosfatado para o suprimento das necessidades da planta, ou seja, uma dose de 120 kg ha^{-1} de SFT equivaleria a uma dose de 40 kg ha^{-1} de fertilizante organomineral utilizando cama de aviário in natura como fonte orgânica, SFT como fonte de P, com adição de 50 mmol kg^{-1} de ácido cítrico.

Para o fertilizante organomineral produzido com fosfato de Bayóvar e adição de ácido cítrico, verificou-se uma maior acumulação de P nas raízes na dose de 80 kg ha⁻¹ (Figura 7.1). Os resultados de média apresentados na Tabela 2 do Apêndice B mostram que esta acumulação de P pela raiz da planta, quando foi utilizando o fertilizante produzido com fosfato natural reativo de Bayóvar e adição de ácido cítrico, é maior que os valores acumulados de P na raiz quando comparados com os demais tratamentos em todas as doses, sendo que quanto maior a dose maior a acumulação de P na raiz da planta, e que a dose de 80 kg ha⁻¹ de fertilizante organomineral produzido utilizando cama de aviário como fonte orgânica e fosfato natural reativo de Bayóvar como fonte de P com adição de ácido cítrico é estatisticamente igual a uma dose de 120 kg ha⁻¹ de Bayóvar puro (Figura 7.1).

Conclui-se portanto que a adição de cama de aviário à fonte mineral de P melhora a disponibilidade e a acumulação deste nutriente para as raízes das plantas, e que os resultados foram mais significativos para a fonte mineral natural (Bayóvar), pois os fertilizantes organominerais produzidos foram os que mais favoreceram o acúmulo de P em suas raízes, principalmente após a incorporação de um ácido orgânico de baixo peso molecular. Estes resultados estão de acordo com Bolan et al. (1994), que estudaram o efeito da adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular a amostras de solos de diferentes composições mineralógicas e diferentes teores de carbono, verificando que em presença dos ácidos há aumento simultâneo da solubilização do fosfato monocálcico ou rocha fosfática, sendo que a eficiência agrônômica foi maior para a rocha fosfática.

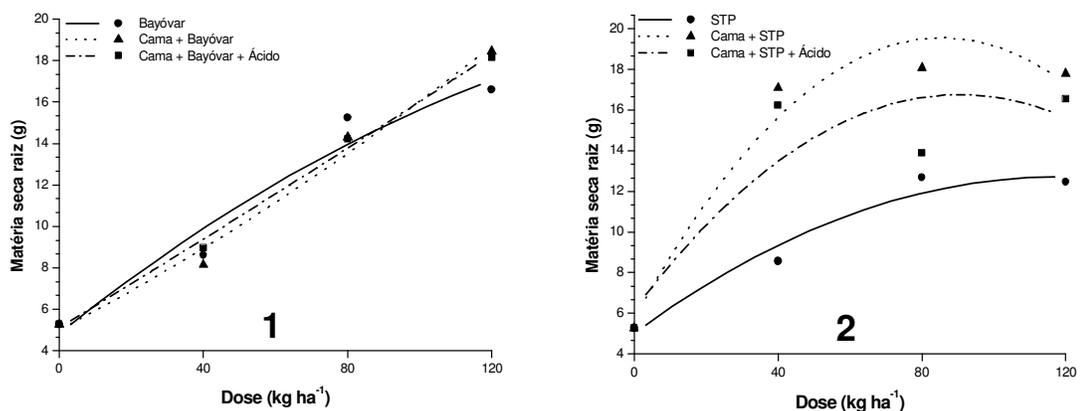


Figura 6. Matéria seca de raiz de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico, em quatro doses de P₂O₅ (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹).

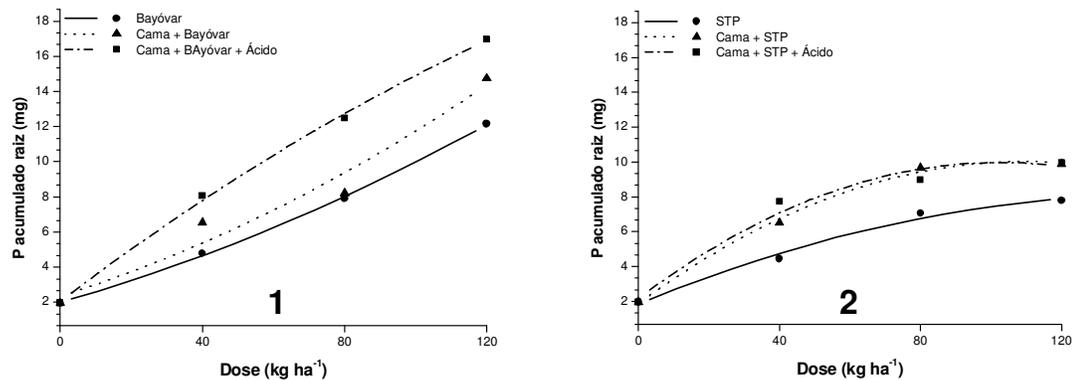


Figura 7. Acúmulo de P em raízes de plantas de milho crescidas em vasos com solo em casa de vegetação, aos 49 dias após germinação, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico, em quatro doses de P_2O_5 a (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹).

4.5.2 Experimento de campo

Os dados originais para os parâmetros produção de matéria seca da parte aérea e raiz e P acumulado para todas as coletas, além de P acumulado total, P acumulado no grão, P acumulado no sabugo, P exportado, massa de grão por espiga e massa de mil grãos, rendimento e número de plantas coletadas por parcela para o cálculo do rendimento, encontram-se na Tabela 7 do Apêndice C.

De acordo com a Tabela 1 do apêndice C, houve diferença significativa para a matéria seca entre os tratamentos até a quarta coleta (63 DAE), onde os maiores resultados foram apresentados pelo fertilizante organomineral produzido utilizando como fonte de P o superfosfato triplo. Já para a interação dose x tratamento, houve diferença significativa apenas nas duas primeiras coletas (35 DAE). Já para o acúmulo de P na matéria seca da parte aérea a tabela 4 do apêndice C mostra diferenças significativas para a interação fonte x dose até os 49 DAE.

As tabelas 17 e 18 apresentam os valores médios para matéria seca de parte aérea e P acumulado na parte aérea, respectivamente, de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência sob efeito de diferentes formulações de fertilizantes. Os resultados mostram que a adição de cama de aviário em ambas as fontes de P aumentou a produção de matéria seca e P acumulado na parte aérea do milho, quando comparados à fonte de P pura. Para o fertilizante produzido utilizando Bayóvar como fonte de P, isto não ocorreu, quando comparado como o Bayóvar puro, na primeira coleta, porém na segunda coleta os resultados de matéria seca e P acumulado foram maiores que os do tratamento com Bayóvar puro. Pelo fato de a matéria orgânica apresentar papel ambivalente (SANYAL & DE DATTA, 1991), o P solúvel presente no fertilizante produzido com Bayóvar, pode ter sido imobilizando inicialmente e, com a decomposição da matéria orgânica houve a produção de ácidos orgânicos, favorecendo uma maior disponibilidade de P.

Provavelmente a degradação da cama de aviário após os 21 DAE produziu ácidos orgânicos de baixo peso molecular, melhorando a eficiência deste fertilizante e diminuindo sua fixação no solo, fato este citado por Troeh & Thompson (2007), sendo que 35 DAE este

fato não foi mais observado provavelmente pela mineralização dos ácidos produzidos (IYAMUREMYE & DICK, 1996), e o aumento da fixação do fosfato no solo. Observa-se também que a aplicação de ácido cítrico aumentou a produção de matéria seca logo na primeira coleta, indicando que a adição deste ácido favoreceu uma maior disponibilidade de P logo no início do ciclo produtivo, suprimindo a necessidade de decomposição da matéria orgânica para a disponibilização de fosfato através da ocupação de sítios imobilizadores deste nutriente imediatamente quando em contato com o solo. De acordo com Bolan et al. (1994), os ácidos orgânicos aumentam a disponibilidade de P nos solos principalmente através da redução da adsorção e aumento na solubilização dos compostos de fósforo. Este fato se estendeu até os 35 DAE, devido à produção de ácidos provenientes da decomposição da cama de aviário e não foi significativo nas coletas posteriores.

Quando se analisa os fertilizantes organominerais produzidos com superfosfato triplo (SFT), observa-se que logo na primeira coleta a adição de cama de aviário aumentou a produção de matéria seca da parte aérea, não dependendo da adição de ácido orgânico. Este fato pode ter ocorrido devido à alta solubilidade da fonte de P utilizada que, associada a cama de aviário, atuou como uma barreira, impedindo o contato da fonte de P solúvel com o solo.

Tabela 17. Matéria seca de parte aérea de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência (DAE), sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Fonte de variação	1ª coleta (21 DAE) (g planta ⁻¹)	2ª coleta (35 DAE) (g planta ⁻¹)	3ª coleta (49 DAE) (g planta ⁻¹)	4ª coleta (63 DAE) (g planta ⁻¹)	5ª coleta (105 DAE) (g planta ⁻¹)
Controles					
Sem nutriente	4,00	15,88	79,27	219,52	273,48
Sem P	3,18	19,47	97,68	172,48	245,63
Fonte de P					
B (Bayóvar)	4,93 bcd	20,81 d	90,05 b	262,63 ab	315,36 a
CB (Cama de aviário + Bayóvar)	4,67 cd	29,42 ab	95,21 ab	235,34 b	295,32 a
CBA (Cama + Bayóvar + ácido cítrico)	5,98 abc	23,76 bcd	74,97 b	235,60 b	281,99 a
S (supertriplo)	3,47 d	23,55 cd	103,93 ab	283,89 ab	300,48 a
CS (Cama + supertriplo)	6,52 a	31,42 a	123,62 a	265,10 ab	259,24 a
CSA (Cama + supertriplo + ácido cítrico)	6,27 ab	28,97 abc	111,35 a	315,26 a	301,64 a
Dose de P (kg ha ⁻¹)					
40	4,48	21,85	90,17	228,38	260,58
80	5,18	28,83	102,75	268,01	304,93
120	6,27	28,29	104,15	302,53	311,51

Valores das fontes de P correspondem à média de três doses de P; valores das doses de P correspondem à média de seis fontes de P. Letras comparam os tratamentos na coluna pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 18. Acúmulo de P na parte aérea de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência (DAE), sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Fonte de variação	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	4ª coleta	5ª coleta
-------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

	(21 DAE) (mg planta ⁻¹)	(35 DAE) (mg planta ⁻¹)	(49 DAE) (mg planta ⁻¹)	(63 DAE) (mg planta ⁻¹)	(105 DAE) (mg planta ⁻¹)
Controles					
Sem nutriente	59,08	221,89	349,24	300,48	210,46
Sem P	44,19	363,80	409,40	236,02	272,53
Fonte de P					
B (Bayóvar)	77,07 bc	430,79 b	498,04 a	399,47 a	458,06 a
CB (Cama de aviário + Bayóvar)	77,27 bc	573,37 ab	566,65 a	384,81 a	522,60 a
CBA (Cama + Bayóvar + ácido cítrico)	92,57 ab	523,10 ab	464,43 a	371,20 a	395,46 a
S (supertriplo)	54,75 c	483,15 b	529,12 a	420,73 a	485,36 a
CS (Cama + supertriplo)	111,32 a	661,20 a	649,25 a	411,75 a	471,25 a
CSA (Cama + supertriplo + ácido cítrico)	106,45 a	644,61 a	533,34 a	455,51 a	412,65 a
Dose de P (kg ha ⁻¹)					
40	77,13	457,98	511,99	347,03	376,29
80	83,60	609,21	507,52	413,74	490,58
120	103,98	590,93	600,91	460,96	505,82

Valores das fontes de P correspondem à média de três doses de P; valores das doses de P correspondem à média de seis fontes de P. Letras comparam os tratamentos na coluna pelo teste de Tukey a 5%.

As tabelas 19 e 20 apresentam os valores dos tratamentos para a matéria seca e P acumulado na raiz da planta de milho, e mostra diferença significativa apenas na primeira coleta para os fertilizantes organominerais produzidos com fonte de P solúvel (SFT), sendo mais significativo quando se adiciona ácido cítrico à formulação. De acordo com Brady & Weil (2008), o crescimento de raízes é influenciado pela disponibilidade de P no solo, principalmente no desenvolvimento de raízes laterais e radiculares. Um maior efeito significativo na matéria seca e P acumulado na raiz se repete aos 49 DAE, provavelmente devido à decomposição da cama de aviário produzindo ácidos orgânicos que mantêm o P disponível por um maior período de tempo e também a produção destes ácidos, pois as raízes liberam muitos ácidos orgânicos (cítrico, málico, oxálico, butírico, acético, láctico, etc.), e a concentração desses compostos depende de fatores como a espécie e condições de estresse as quais essas são submetidas (JONES, 1998). A mineralização destes ácidos é dificultada pelo fato de que a adsorção dos mesmos em hidróxidos de Fe diminui sua degradação (GEELHOED et al., 1999).

Tabela 19. Matéria seca de raiz de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência (DAE), sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Fonte de variação	1ª coleta (21 DAE) (mg planta ⁻¹)	2ª coleta (35 DAE) (mg planta ⁻¹)	3ª coleta (49 DAE) (mg planta ⁻¹)	4ª coleta (63 DAE) (mg planta ⁻¹)	5ª coleta (105 DAE) (mg planta ⁻¹)
Controles					
Sem nutriente	1,49	4,07	16,65	17,52	15,96
Sem P	2,09	4,61	18,02	17,79	17,70
Fonte de P					
B (Bayóvar)	3,93 c	5,49 a	11,60 b	22,68 a	19,21 a
CB (Cama de aviário+Bayóvar)	4,65 bc	5,56 a	14,64 b	22,50 a	18,63 a
CBA (Cama+Bayóvar + ácido cítrico)	4,14 c	6,04 a	12,51 b	20,40 a	20,78 a
S (supertriplo)	4,15 c	5,96 a	12,17 b	23,02 a	20,25 a

CS (Cama+supertriplo)	5,84 b	6,13 a	21,87 a	21,67 a	18,73 a
CSA (Cama+supertriplo+ácido cítrico)	7,40 a	6,22 a	25,12 a	25,76 a	20,24 a
<hr/>					
Dose de P (kg ha ⁻¹)					
40	4,24	5,65	15,42	20,30	19,17
80	5,58	6,15	15,35	21,87	18,65
120	5,23	5,90	18,18	25,83	21,11

Valores das fontes de P correspondem à média de três doses de P; valores das doses de P correspondem à média de seis fontes de P. Letras comparam os tratamentos na coluna pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 20. Acúmulo de P na raiz de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 21, 35, 49, 63 e 105 dias da emergência (DAE), sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico; médias de três doses de P (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Fonte de variação	1ª coleta (21 DAE) (g planta ⁻¹)	2ª coleta (35 DAE) (g planta ⁻¹)	3ª coleta (49 DAE) (g planta ⁻¹)	4ª coleta (63 DAE) (g planta ⁻¹)	5ª coleta (105 DAE) (g planta ⁻¹)
<hr/>					
Controles					
Sem nutriente	19,47	18,47	80,93	39,75	38,97
Sem P	25,97	32,07	126,93	56,32	40,06
<hr/>					
Fonte de P					
B (Bayóvar)	56,89 b	37,58 a	64,99 c	81,60 a	55,62 a
CB (Cama de aviário + Bayóvar)	61,25 b	34,97 a	98,65 bc	76,24 a	44,84 a
CBA (Cama + Bayóvar + ácido cítrico)	67,66 b	39,49 a	75,65 bc	67,33 a	63,09 a
S (supertriplo)	54,71 b	38,66 a	72,25 bc	74,42 a	53,62 a
CS (Cama + supertriplo)	79,59 b	39,47 a	109,84 b	69,00 a	53,41 a
CSA (Cama + supertriplo + ácido cítrico)	114,97a	48,32 a	196,05 a	88,80 a	58,46 a
<hr/>					
Dose de P (kg ha ⁻¹)					
40	62,88	40,42	87,66	64,06	46,71
80	80,24	39,86	96,24	74,77	50,72
120	74,41	38,97	124,82	89,86	67,09

Valores das fontes de P correspondem à média de três doses de P; valores das doses de P correspondem à média de seis fontes de P. Letras comparam os tratamentos na coluna pelo teste de Tukey a 5%.

As Tabelas 21 e 22 apresentam os resultados de matéria seca de sabugo, massa de grão por espiga, P acumulado no sabugo e no grão, P acumulado total de plantas de milho cultivadas em campo, número de espigas coletadas para o cálculo de produtividade, P exportado no grão e produtividade para plantas coletadas após 105 dias da emergência. De acordo com as análises de variância realizadas (Tabela 6 e 7, Apêndice C) não houve efeito significativo para nenhuma interação entre fonte de P e dose para nenhuma variável analisada. Entretanto, observou-se efeito isolados para as fontes de P utilizadas, bem como para as doses utilizadas. Os dados de média para as doses em cada tratamento para as variáveis P acumulado total, P acumulado na parte aérea, P acumulado na raiz, P acumulado no sabugo, P acumulado no grão e produtividade de grãos são apresentados na Tabela 7 do Apêndice C e a apresentação dos resultados para os tratamentos em função das doses utilizadas encontram-se nas figuras 8, 9, 10 ,11 ,12 13.

Tabela 21. Matéria seca de sabugo, massa de grão por espiga, P acumulado no sabugo e no grão e P acumulado total de plantas de milho cultivadas em campo, coletadas após 105 dias da

emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico, em três doses de P aplicadas (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅)

Fonte de variação	Matéria seca de sabugo (g planta ⁻¹)	P acumulado no sabugo (mg planta ⁻¹)	Massa de grão por espiga (g)	P acumulado no grão (mg planta ⁻¹)	P acumulado total (mg planta ⁻¹)
Controles					
Sem nutriente	19,72	47,40	88,40	341	519
Sem P	18,90	63,78	94,29	199	576
Fonte de P					
B (Bayóvar)	26,61 ab	63,31 a	140,81 b	354 a	594 a
CB (Cama de aviário + Bayóvar)	23,44 b	65,38 a	156,76 ab	435 a	729 a
CBA (Cama + Bayóvar + ácido cítrico)	28,29 ab	64,55 a	160,07 ab	462 a	714 a
S (supertriplo)	25,10 ab	60,96 a	159,43 ab	471 a	741 a
CS (Cama + supertriplo)	29,65 a	67,78 a	148,43 ab	359 a	637 a
CSA (Cama + supertriplo + ácido cítrico)	28,99 ab	64,45 a	171,58 a	483 a	744 a
Dose de P (kg ha⁻¹)					
40	26,48	64,24	132,89	344	577
80	26,80	60,89	165,31	433	702
120	27,76	68,09	170,34	505	800

Valores das fontes de P correspondem à média de três doses de P; valores das doses de P correspondem à média de seis fontes de P. Letras comparam os tratamentos na coluna pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 22. Número de espigas coletadas por tratamento para cálculo do rendimento, massa de 1000 grãos, P exportado no grão, número de plantas por hectare e produtividade para milho cultivado em campo, coletadas após 105 dias da emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar ou supertriplo) e ácido cítrico; médias de três doses de P (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

Fonte de variação	Espigas coletadas (m ⁻²)	Massa de 1000 grãos (g)	P exportado nos grãos (g m ⁻²)	Produtividade de grãos (g m ⁻²)
Controles				
Sem nutriente	8,51	308	2,90	753
Sem P	7,87	291	1,54	742
Fonte de P				
B (Bayóvar)	7,65 a	334 a	2,71 b	1078 b
CB (Cama de aviário + Bayóvar)	8,12 a	335 a	3,50 ab	1272 ab
CBA (Cama + Bayóvar + ácido cítrico)	8,13 a	3291 a	3,71 a	1294 ab
S (supertriplo)	8,12 a	333 a	3,81 a	1294 ab
CS (Cama + supertriplo)	7,86 a	322 a	2,85 ab	1173 ab
CSA (Cama + supertriplo + ácido cítrico)	7,88 a	330 a	3,81 a	1366 a
Dose de P (kg ha⁻¹)				
40	7,95	324	2,72	1056
80	7,94	333	3,41	1309
120	8,06	334	4,06	1372

Valores das fontes de P correspondem à média de três doses de P; valores das doses de P correspondem à média de seis fontes de P. Letras comparam os tratamentos na coluna pelo teste de Tukey a 5%.

A Figura 8 apresenta os resultados para P acumulado total nas plantas de milho coletadas após 105 dias da emergência em campo. Observa-se que o P acumulado total nas plantas cultivadas com fertilizante organomineral produzido com fosfato de Bayóvar (Figura 8.1) não apresentou resultados maiores que o Bayóvar puro para doses inferiores a 50 kg ha⁻¹. Para doses superiores, nota-se uma maior quantidade de P acumulado por planta, sendo que a adição de ácidos orgânicos ao fertilizante organomineral não influenciou na acumulação de P. Estes resultados mostram que a incorporação de uma fonte orgânica a uma fonte de fosfato natural é uma forma viável de tornar o P presente na fonte de P disponível para a cultura durante o ciclo produtivo.

A distribuição do P ocorre de maneira semelhante para o P acumulado no grão (Figura 11.1) e no sabugo (Figura 12.1), sendo que estes resultados foram acompanhados de uma maior produtividade. Entretanto, observa-se uma inversão nos valores de P acumulado na parte aérea, onde o fertilizante organomineral produzido sem adição de ácido apresentou maior valor que o fertilizante produzido com adição de ácido cítrico (Figura 9.1), principalmente para as doses de 40 e 80 kg ha⁻¹. Já para o P acumulado na raiz os resultados se mostraram inversos, ou seja, verificou-se um valor maior de P acumulado na raiz das plantas cultivadas com fertilizante organomineral produzido com adição de ácidos orgânicos, quando comparados com a mesma formulação sem adição de ácido (Figura 10.1). Estes mesmos resultados para o P acumulado na raiz foram encontrados no experimento realizado em casa de vegetação (Figura 7.1). Portanto, o fato de as plantas de milho acumularem mais P na raiz quando cultivadas com fertilizantes organominerais fosfatados pode ser atribuído à adição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular às formulações, porém este fato não ocasionou aumento de produtividade quando comparado com as formulações sem ácido.

Para os fertilizantes organominerais produzidos com fonte de P solúvel (SFT), os resultados para P acumulado total indicam que a adição de ácido cítrico favoreceu o acúmulo de P dentro das doses utilizadas em comparação com o mesmo fertilizante sem adição de ácido (Figura 8.2). Observa-se que o fertilizante organomineral acidificado apresenta praticamente os mesmos teores de P acumulado do que o SFT puro. As Figuras 9.2 e 10.2 mostram que a quantidade de P acumulada na planta na época da coleta é inferior aos valores encontrados para o SFT puro, indicando que o P foi transferido para o grão. Este fato pode ser constatado pela Figura 11.2 que apresenta o fertilizante organomineral acidificado contendo os mesmos acúmulos de P no grão que a fonte mineral pura, e a Figura 13.2 que mostra a produtividade do milho produzido com o fertilizante organomineral foi praticamente a mesma que a produtividade do fertilizante mineral.

Os valores de P acumulado no grão e produtividade constatarem o fato de que a planta tratada com o fertilizante organomineral acidificado possui menor quantidade de P na parte aérea e raízes, mas no entanto os valores acumulados de P no grão semelhantes aos valores encontrados para o grão produzido com SFT.

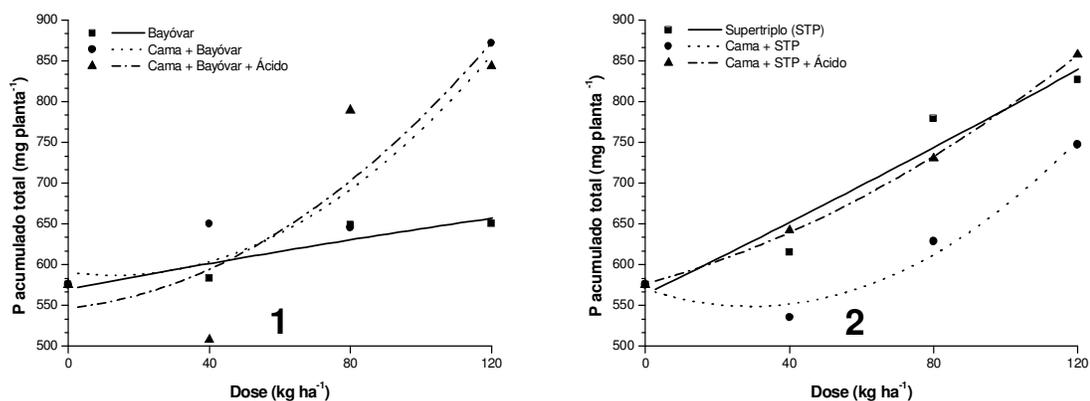


Figura 8. Acúmulo total de P (aérea + raiz + sabugo + grão), para milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico, em quatro doses de P₂O₅ (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹).

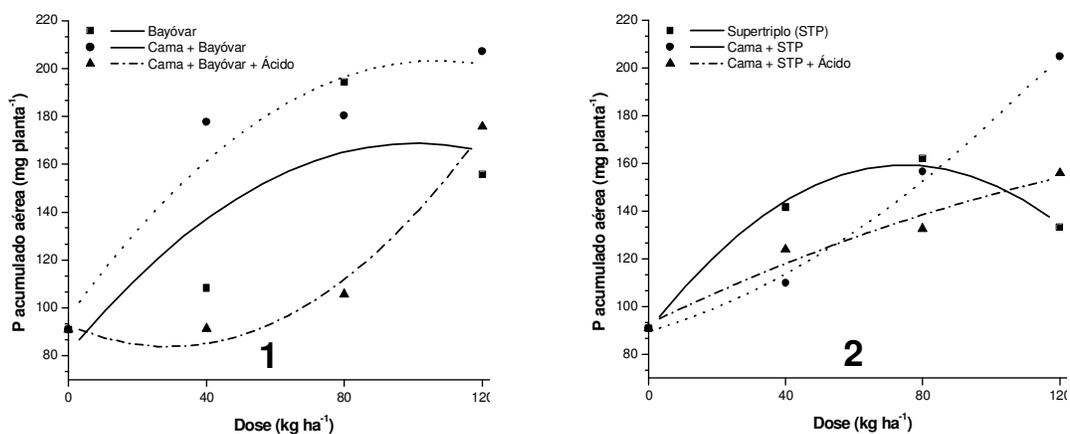


Figura 9. Acúmulo de P na parte aérea de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P₂O₅ equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha⁻¹.

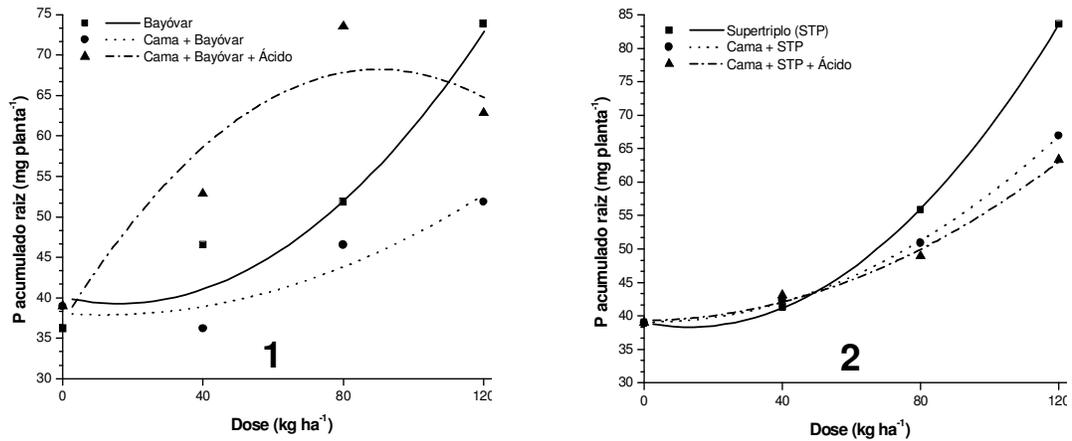


Figura 10. Acúmulo de P na raiz de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$.

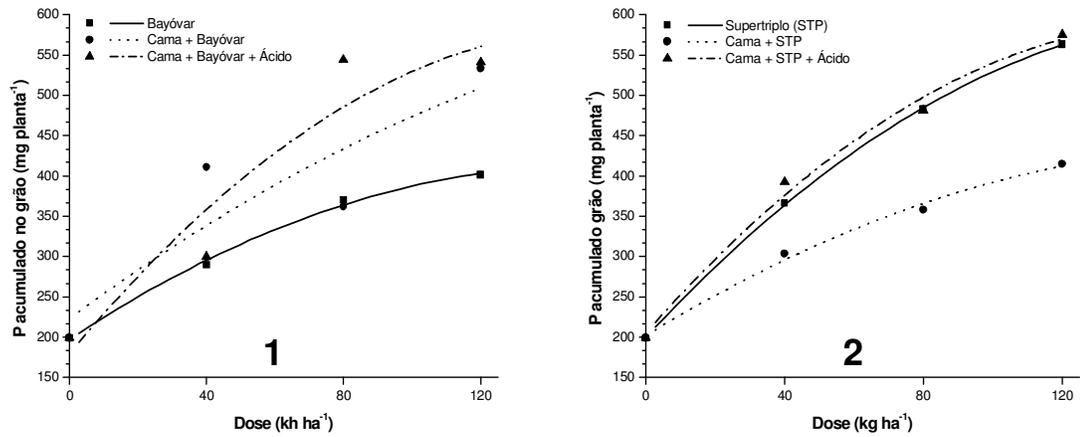


Figura 11. Acúmulo de P no grão de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$.

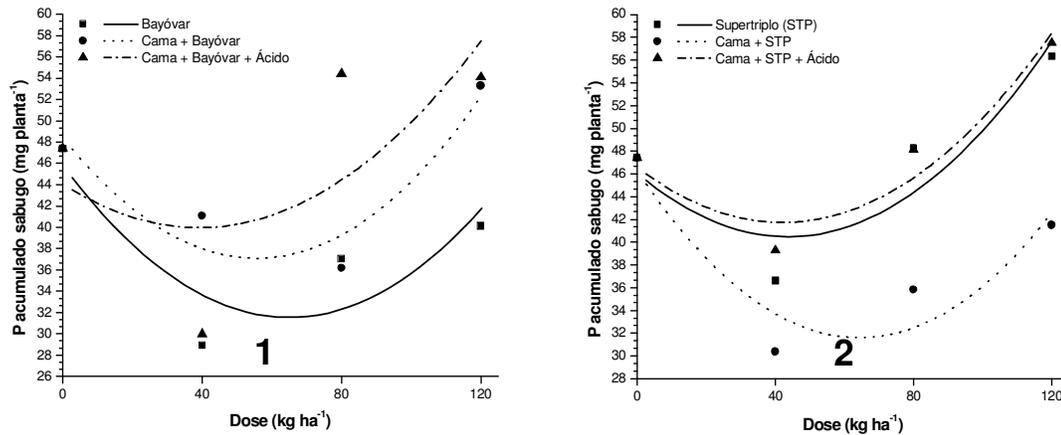


Figura 12. P acumulado no sabugo de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$.

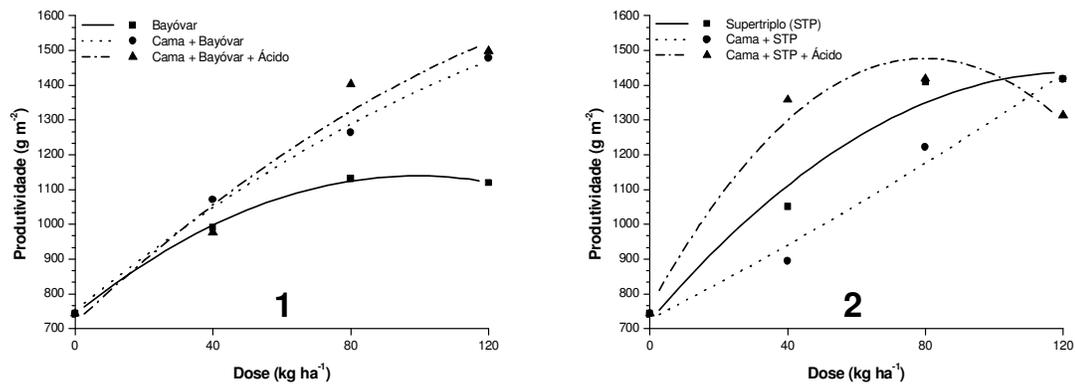


Figura 13. Produtividade de grãos de milho cultivado em campo aos 105 dias após emergência, sob efeito da adição de diferentes formulações de fertilizante organomineral com cama de aviário in natura, e adição de diferentes fontes de P (Bayóvar (1) ou supertríplo (2)) e ácido cítrico em três doses de P_2O_5 equivalentes a 40, 80 e 120 $kg\ ha^{-1}$.

O milho cultivado com fertilizante organomineral produzido com fosfato natural reativo de Bayóvar apresentou produtividade de grãos similar ao SFT puro (Figuras 13.1 e 13.2). Os resultados demonstram que a utilização de fonte mineral associada a uma fonte orgânica oferece resultados satisfatórios de produtividade de milho e que, no caso de fontes minerais pouco solúveis como o fosfato de Bayóvar, os resultados foram superiores à utilização da fonte mineral pura. Foi observado também, na Figura 13.1 que, a adição de ácido cítrico não causou o efeito esperado. Já na Figura 13.2 observa-se que a adição de ácido cítrico causou efeito negativo na produtividade de milho, porém o fertilizante organomineral produzido apenas com SFT e cama de aviário in natura apresentou produtividade maior nas doses de 40 e 80 $kg\ ha^{-1}$.

4.6 Conclusões

A adição de cama de aviário a uma fonte de P natural ou industrializada aumentou o acúmulo de matéria seca e de P em plantas de milho cultivadas em casa de vegetação. O fertilizante organomineral produzido com SFT proporcionou maiores matéria seca de parte aérea e raiz, e P acumulado na parte aérea, sem efeito da adição de ácido cítrico.

O ácido cítrico adicionado ao fertilizante organomineral produzido com fosfato natural reativo de Bayóvar aumentou a acumulação de P na raiz de milho cultivado em casa de vegetação.

A adição de cama de aviário em ambas as fontes de P aumentou a produção de matéria seca e P acumulado na parte aérea do milho cultivado em campo, quando comparados à fonte de P pura.

A adição de ácido cítrico aumentou a produção de matéria seca nos primeiros 35 dias após o plantio, para os fertilizantes produzidos com fosfato natural reativo de Bayóvar e, para os fertilizantes organominerais produzidos com SFT não foi verificado o efeito do ácido, mas estes fertilizantes causaram maior produção de matéria seca de milho cultivado em campo.

As plantas de milho sob fertilizante organomineral produzido com fosfato natural reativo de Bayóvar apresentaram produtividade de grãos igual ao SFT puro, fato este que indica que o fosfato natural reativo de Bayóvar necessita de associação com fonte orgânica para que a disponibilidade de fósforo seja aumentada e assimilada pela planta.

Conclui-se que a incorporação de matéria orgânica a uma fonte de fosfato natural causa efeito positivo na produtividade e que a adição de ácido cítrico proporciona um aumento na matéria seca de raiz.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente há uma grande discussão sobre o desenvolvimento sustentável e um dos principais problemas é o uso irracional de resíduos agroindustriais na adubação de culturas. O grande desafio do estudo sobre fertilizantes organominerais é o uso eficiente e consciente de resíduos agroindustriais, bem como a utilização de fontes de fósforo que contenham este nutriente pouco disponível. É importante salientar a importância de novas pesquisas sobre a capacidade de disponibilização do fósforo presente em fontes pouco solúveis e também o efeito da associação, de diversas maneiras, de fontes orgânicas a estas fontes de fósforo, bem como a influência dos demais nutrientes que as culturas necessitam durante o ciclo de produção.

O estudo de incorporação de cama de aviário com rochas fosfatadas apresentou resultados satisfatórios, favoráveis à incorporação desta técnica na produção de fertilizantes organominerais granulados. Isto foi observado no experimento de campo, onde as plantas de milho sob fertilizante organomineral produzido com cama de aviário in natura e fosfato natural reativo de Bayóvar apresentaram produtividade igual ao SFT puro, o que indica que o fosfato natural reativo de Bayóvar necessita de associação com fonte orgânica para que a disponibilidade de fósforo para a planta seja aumentada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKANDE, M.; OLUWATOYINBO, F.; MAKINDE, E.; ADEPOJU, A.; ADEPOJU, I. Response of okra to organic and inorganic fertilization. *Nature and Science*, v.8, n.1, p.261-266, 2010.

ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A.S. Os adubos e a eficiência das adubações. 3 ed. São Paulo: ANDA, 1998. 35p. (Boletim Técnico, 3)

ANDA - Associação nacional para difusão de adubos. (2014). www.anda.org.br. Acesso em 05 de 09 de 2014, disponível em <http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>

ANDA - Associação nacional para difusão de adubos (2014). <http://www.anda.org.br>. Acesso em 12 de 01 de 2014, disponível em <http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>

ANDRADE, F.; MENDONÇA, E.; ALVAREZ, V.; NOVAIS, R. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.6, p.1003-1011, 2003.

ARAÚJO, F.F. Disponibilidade de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.33, n.2, p.355-360, 2011.

ASADU, C.L.A.; DIELS, J.; VANLAUWE, B.A. A comparison of the contributions of clay, silt and organic matter to the effective CEC of soils of subSaharan Africa. *Soil Science*, Hagerstown, v.162, p.785-797, 1997.

AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.C. Disponibilidade de fósforo para arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.6, p.995-1004, 2004.

BAHIA FILHO, A.F.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, p.221-226, 1993

BASSIRI, A.; NAHAPETIAN, A. Differences in concentrations and interrelationships of phytate, phosphorus magnesium, calcium, zinc, and iron in wheat varieties grown under dryland and irrigated conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.25, n.5, p.1118-1122, 1977.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.D.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-16.

BENITES, V.; CORREA, J.; MENEZES, J.; POLIDORO, J. Dejetos viram fertilizantes. *A Lavoura*, n. 690, p.64-68, 2012.

BOLAN, N.; NAIDU, R.; MAHIMAIRAJARA, S.; BASKARAN, S. Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. *Biology and Fertility of Soils*, v.18, p.311-319, 1994.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *The nature and properties of soils*. 14 ed. Upper Saddle River, Pearson Prentice Hall, 2008. 953p.

BRASIL, E.C.; MURAOKA, T. Avaliação agronômica de fertilizantes fosfatados em solos do Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. (Boletim de Pesquisa, 171)

BRASIL, Instrução normativa nº 25 de 23 de Julho de 2009. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. (D. O. União, Ed.) *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, 5.

BRASIL, M.D. Encefalopatia Espongiforme Bovina - EEB: doença da vaca louca.; ed. 1, Brasília - MAPA/SDA, 2008. 24p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília: MAPA/SDA/CGAL, 2007. 146p. ISBN 978-85-99851-18-0

CABALA, R.; FASSBENDER, H. Formas del fósforo en suelos de la región cacaotera brazil. *Turrialba*, v.20, n.4, p.439-444, 1970.

CELI, L.; BARBERIS, E. Abiotic reactions of inositol phosphates in soil. In: TURNER, B.; RICHARDSON, A.; MULLANEY, E. (Eds.), *Inositol phosphates: Linking agriculture and the environment*. Wallingford, CABI, 2007, p.207-220.

CHANG, S.; JACKSON, M.L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. *Journal in Soil Science*. v.9, n.1, p.109-119, 1958.

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

CONAB. (10 de 01 de 2014). <http://www.conab.gov.br/imprensa-noticia.php?id=32429>. Acesso em 12 de 01 de 2014, disponível em: <http://www.conab.gov.br/imprensa-noticia.php?id=32429>

Conab. (2013). Indicadores da Agropecuária. Acesso em 17 de 06 de 2013, disponível em <http://www.conab.gov.br>

CORRÊA, F.; SOUZA, C.A.S.; CARVALHO, G, J.; MENDONÇA, V. Fósforo e zinco no desenvolvimento de mudas de Aceroleira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 3, p.793-796, 2002.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. Toposequence of Oxisols from the central plateau of Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v.48, n.2, p.341-346, 1984.

DALAL, R. Soil organic phosphorus. In: *Managing soil quality: challenges in modern agriculture*. London, Ama dataset, UK, 2004. 82p.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: SSSA, 1994. p.1-20.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.*

FERNANDES, A.L.; TESTEZLAF, R. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organominerais e químicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.45-50, 2002.

FERREIRA DF. 2000. Análise estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: *REUNIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45. Programas e Resumos...* São Carlos: UFScar. p. 235, 2000.

FONTES, M.; WEED, S.; BOWEN, L. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, n.3, p.982-990, 1992

FRANCHINI, J.C.; GONZALES-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. *Plant and Soil*, v.231, n.1 p.55-63, 2001.

FRANCHINI, J.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.533-542, 1999

FRANZINI, V.I.; MURAOKA, T.; LEÓN, H.M.; MENDES, F.L. 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.

FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M.; METHERELL, A. Reactions controlling the cycling of P. In: H. TIESSEN (ed.), *Phosphorous in the global environment*. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1994. p.107-197.

GATIBONI, L. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. Santa Maria, UFSM, 2003. 231p. (Tese de Doutorado em Agronomia).

GATIBONI, L.; RHEINHEIMER, D.; FLORES, A.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J.; SILVEIRA DE LIMA, M. Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-NMR in successively cropped soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.36, n.19-20, p.2625-2640, 2008.

GEELHOED, J.; VAN RIEMSDIJK, W.; FINDENEGG, G. Simulation of the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite. *European Journal of Soil Science*, v.50, n.3, p.379-390, 1999.

- GOEDERT, W.; REIN, T.; SOUSA, D. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais. Planaltina-DF: Embrapa-CPAC, 1986. 21p. ISSN: 0102-0021
- GUPPY, C.; MENZIES, N.; MOODY, P.; BLAMEY, F. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. Australian Journal of Soil Research, v.43, n.2, p.189-202, 2005.
- HAYNES, R. Lime and phosphate in the soil-plant system. Advances in Agronomy, v.37, p.249-315, 1984.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. L. The water culture methods for growing plants without soil. Berkeley: University of California, 1950. 32 p. (Circular 347).
- IYAMUREMYE, F.; DICK, R. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. Advances in Agronomy, v. 56, p.457-461, 1996.
- JAYARAMA, SHANKAR, B.; VIOLET, M. Citric acid as a potential phosphate solubiliser in coffee soils. Indian Coffee, v.74, n.5, p.13-15, 1998.
- JAYMAN, T.C.Z.; SIVASUBRAMANIAN, S. Release of bound iron and aluminium from soil by root exudates of tea (camellia sinensis) plants. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.26, p.1895-1898, 1975.
- JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. Plant and Soil, The Hague, v. 205, n.1, p.25-44, 1998.
- KAMINSKI, J. Efeito de cinco fosfatos pré-, co- e pós-aplicados ao Calcário no Suprimento de Fósforo ao Sorgo em três Solos Ácidos. ESALQ/USP. Piracicaba, 126p.; 1983. (Tese Doutorado).
- KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Núcleo Regional Sul da Soc. Brás. de Ciência do Solo, Santa Maria - RS, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3).
- KHIARI, L.; PARENT, L.E. Phosphorus transformations in acid light-textured soils treated with dry swine manure. Canadian Journal of Soil Science, v.85, n.1, p.75-87, 2005.
- KIEHL, E. Fertilizantes orgânominerais, Piracicaba: Agrônômica CERES, Degaspari, 2013. 148p. ISBN: 858935382-6
- KIRK, G. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. Europe Journal of Soil Science, v.50, n.3, p.369-378, 1999.
- KOWALENKO, C.; MCKERCHER, R. Phospholipid P content of Saskatchewan soils. Soil Biology & Biochemistry, v.3, n.3, p.243-247, 1971.
- KPOMBLEKOU, K. TABATABAI, M.A. Effect of organic acids on release of phosphorous from phosphate rocks. Soil Science, v.158, n 6, p.442-453, 1994.
- LEE, Y. S.; BARTLETT, R.J. Stimulation of plant growth by humic substances. Soil Science Society of America Journal, v.40, p.479-576, 1976.

LEVRERO, C.R. Fertilizante organomineral: a serviço do mundo. FÓRUM abissolo. Especial Abissolo, Piracicaba – SP, 2009. 21p.

LOPES, A.S.; COX, F.R. Relação de características físicas químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob Cerrados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.3, p.82-88, 1979.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p.2-61.

LOPEZ HERNADEZ, D.; SIEGERT, G.; RODRIGUEZ, J. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. Soil Science Society of American Journal, v.50, n.6, p.1460-1462, 1986.

LUNG, S.; LIM, B. Assimilation of phytate-phosphorus by the extracellular phytase activity of tobacco (*Nicotiana tabacum*) is affected by the availability of soluble phytate. Plant and Soil, v.279, n.1-2, p.187-199, 2006.

MAKAROV, M.; HAUMAIER, L.; ZECH, W. The nature and origins of diester phosphates in soils: a NMR study. Biology and Fertility of Soils, v.35, n.2, p.136-146, 2002.

NAIFF, A. Crescimento, Composição Mineral e Sintomas Visuais de Deficiências de Macronutrientes em Plantas de *Alpinia Purpurata* Cv. Jungle King. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2007. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. NUNES, F.N. Fósforo. 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. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537

NOVAIS, R.; SMYTH, T. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. (INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS Nº 87 – SETEMBRO/99)

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

OMOTOSO, T.; WILD, A. Occurrence of inositol phosphates and other organic phosphate components in an organic complex. Journal of Soil Science, v.21, n.2, p.224-232, 1970.

PARENT, L.E.; KHIARI, L.; PELLERIN, A. The P fertilization of potato: Increasing agronomic efficiency and decreasing environmental risk. Acta Horticulturae, v. 627, p.35-41, 2003.

PEARSON, G.A.; AYERS, A.D.; EBERHARD, D.L. Relative salt tolerance of rice during germination and early seedling development. Soil Science, Baltimore, v.102, p.151-156, 1966.

PIRES, A.M.M.; MARCHI, G.; MATTIAZZO, M.E.; GUILHERME, R.L.G. Organic acids in the rhizosphere and phytoavailability of sewage sludge-borne trace elements. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.917-924, 2007.

PRADO, R.M. Nutrição de plantas diagnose foliar em grandes culturas. Jaboticabal: Capes/Fundunesp, 2008. 301p.

RAJAN, S.; WATKINSON, J.; SINCLAIR, A. Phosphate rocks for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, v.57, p.77-159, 1996.

ROCCON, J. Desempenho de frangos de corte e produção de energia em biodigestores utilizando-se três tipos de cama. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2014. 83p. Dissertação de Mestrado.

SANYAL, S.K.; DE DATTA, S.K. **Chemistry of phosphorus transformations in soil**. New York: Springer Verlag Press, 1991. 120p.

SCALÉA, M.J. Perguntas & respostas sobre o plantio direto. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, v. 83, p.1-8, 1998. Encarte técnico.

SCHUMACHER, M.; CECONI, D.; SANTANA, C. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento das plantas de *Peltophorum dubium* (Sprengel). *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.97, p.99-114, 2003.

SCHWERTMAN, U.; KODAMA, H.; FISHER, W. Mutual interactions between organics and iron oxides In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Ed.) *Interaction of soil minerals with natural organics and microbes*. Soil Science Society of America, n. 17, p.223-247, 1986.

SEUFFERHELD, M.; CURZ, I.M. Recent discoveries on the roles of polyphosphates in plants. *Plant Molecular Biology Reporter*, v.28, n.4, p.549-559, 2010.

SILVA, F.A.; AZEVEDO, C.A. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.4, n.1, p.71-82, 2002.

SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes (2 ed.). Brasília: Embrapa. 2009. 624p. ISBN: 978857383430-7.

SILVA, F.; NOGUEIRA, F.; GUIMARÃES, P.T.; GODINHO, A.; MALTA, M. Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular na rizosfera de cafeeiro por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). *Ciência e Agrotecnologia*, edição especial, p.1391-1395, dez. 2002.

SILVA, P.C.; FRANÇA, A.F.S.; PÁDUA, D.M.C. Milheto (*Pennisetum americanum*) como substituto do milho (*Zea mays*) na alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Boletim do Instituto de Pesca*, v.24, n.(especial), p.125-131, 1997.

SOUSA, D.M.; LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2004. 416p. ISBN: 85-7383-230-4.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989b. 277p.

STEINER, F.; COSTA, M.; COSTA, L.; PIVETTA, L.; CASTOLDI, G. Disponibilidade de micronutrientes no sistema plantio direto, na presença e ausência de plantas de cobertura submetido a diferentes fontes de fertilizantes. *Global Science and Technology*, v.4, n.1, p.28-37, 2011.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition reactions. New York: John Wiley, 2.ed.; v.2, 2009. 1380p.

TAN, K.H. Principles of soil chemistry. 3.ed. New York: Marcel Dekker, 1998. 495p.

TANG, J.; LEUNG, A.; LEUNG, C.; LIM, B. Hydrolysis of precipitated phytate by three distinct families of phytates. *Soil Biology And Biochemistry*, v.38, n.6, p.1316-1324, 2006.

TATE, K.; NEWMAN, R. Phosphorus fractions of climo-sequence of soil New Zealand tussock grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, v.14, n.3, p.191-196, 1982.

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T.; HENRIQUE, H. M.; KORNDORFER, G. H. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de nutrientes em plantas de milho submetidas à adubação mineral e organomineral. In: Congresso brasileiro de ciência do solo. 2011. Anais...Uberlândia - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2011. CDROM.

TEJADA, M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J.L. Effects of application of two organomineral fertilizers on nutrient leaching losses and wheat crop. *Agronomy Journal*, v.97, n.3, p.960-967, 2005.

TURNER, B.; LEYTEM, A. Phosphorus compounds in sequential extracts of animal manures: Chemical speciation and a novel fractionation procedure. *Environmental Science & Technology*, v.38, n.22, p.6101-6108, 2004.

TURNER, B.; CADE-MENUN, B.; CONDRON, L.; NEWMAN, S. Extraction of soil organic phosphorus. *Talanta*, v.66, n.2, p.294-306, 2005.

TURNER, B.; CONDRON, L.; RICHARDSON, S.; PELTZER, D.; ALLISON, V. Soil organic phosphorus transformations during pedogenesis. *Ecosystems*, v.10, p.1166-1181, 2007.

TURNER, B.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. Quantification of myo-inositol hexakisphosphate in alkaline soil extracts by solution . *Soil Science*, v.168, n.7, p.469-478, 2003.

TURNER, B.; PAPHAZY, M.; HAYGARTH, P.; MCKELVIE, I. Inositol phosphates in the environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, v.357, p.449-469, 2002.

VEZZANI, F.M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELLO, N.A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G.D.A.; SILVA, L.S.D.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamento da matéria orgânica no solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª Ed., Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.483-494.

VILLAPANDO, R.; GRAETZ, D. Phosphorus sorption and desorption properties of the spodic horizon from selected Florida spodosols. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, n.2, p.331-339, 2001.

VIOLANTE, A.; GIANFREDA, L. Competition in adsorption between phosphate and oxalate on aluminium hydroxide montmorillonite complex. *Soil Science society american Journal*, v.57, n.5, p.1235-1241, 1993.

WILLIAMS, C.; ANDERSON, G. Inositol phosphates in some Australian soils. Australian Journal of Soil Research, v.6, n.1, p.121-130, 1968.

ZEBARTH, B.J.; CHABOT, R.; COULOMBE, J.; SIMARD, R.R.; DOUHERET, J.; TREMBLAY, N. Pelletized organo-mineral fertilizer product as a nitrogen source for potato production. Canadian Journal of Soil Science, v.85, n.3, p.387-395, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1 – Quadrados médios para análise de variância de matéria seca de 4 coletas consecutivas de milho e matéria seca acumulada, cultivado em casa de vegetação com diferentes formulações de fertilizantes organominerais.

Fonte de variação	GL	Matéria Seca coleta 1 (45 dias)	Matéria Seca coleta 2 (90 dias)	Matéria seca coleta 3 (135 dias)	Matéria seca coleta 4 (180 dias)	Matéria seca acumulada
Fonte orgânica (FO)	1	26,58 *	55,81 **	26,16 **	1,26	73,16 **
Fonte de P (P)	2	458,77 **	224,65 **	146,55 **	64,34 **	2661,6 **
Ácido	3	0,66	19,09	2,28 *	0,60	17,93
FO x P	2	5,76	20,92 *	5,57 **	3,25 **	40,21 *
FO X Ácido	3	7,41	12,79	2,00	0,13	24,85 *
P x ácido	6	9,41	16,63	0,44	0,45	12,12
FO x P x ácido	6	4,06	16,62	0,85	0,46	9,03
Resíduo	96	4,42	247,53	0,76	0,46	9,78
CV(%)		25,92	23,25	20,78	36,19	14,85

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 2 - Quadrados médios para análise de variância de P acumulado em 4 coletas consecutivas de milho e P acumulado, cultivado em casa de vegetação com diferentes formulações de fertilizantes organominerais.

Fonte de Variação	G L	P acumulado coleta 1 (45 dias)	P acumulado coleta 2 (90 dias)	P acumulado coleta 3 (135 dias)	P acumulado coleta 4 (180 dias)	P acumulado Total
Fonte org	1	0,06	1,22 **	0,03	0,19 **	2,65 **
fonte de P	2	14,23 **	4,69**	5,75**	1,18 **	82,90 **
Ácido	3	1,71 **	0,06	0,47**	0,05**	0,5
Fonte org x Fonte de P	2	0,064	0,23 *	0,26**	0,02	0,33
Fonte org x Fonte de P	3	0,41	0,17*	0,04	0,03 *	0,01
Fonte de P x Ácido	6	0,81**	0,21 **	0,21 **	0,04 **	0,84 *
Fonte org x Fonte de P x Ácido	6	0,21	0,25**	0,12**	0,026 *	1,29 **
Resíduo	96	0,16	0,06	0,03	0,01	0,29
CV(%)		35,54	28,19	32,72	44,04	19,62

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade

APÊNDICE B

Tabela 1 – Quadrados médios para matéria seca de parte aérea e raiz, P acumulado na parte aérea e raiz e P acumulado total em plantas de milho cultivado em casa de vegetação com diferentes fontes de fósforo

Fonte de Variação	GL	Matéria seca de parte aérea (g)	Matéria seca de raiz (g)	P acumulado na parte aérea (mg)	P acumulado na raiz (mg)	P acumulado total (mg)
Tratamentos	5	175,46 **	56,46 **	517,11 **	48,34 **	435,79 **
Doses	2	1764,67 **	179,93 **	2056,36 **	186,21 **	3422,45 **

Trat x dose	10	61,65 **	23.36 **	112.10 **	10,92 **	78,75 *
Fat x Adc+Test	1	3784,45 **	466.05 **	5486.87 **	297,90 **	8341,75 **
Adc x Test	1	115,33 *	6.57 ns	118.58 ns	4,05 ns	166,43 *
Tratamentos	19	469,62 *	70.96 **	706.57 **	53,96 **	964,19 **
Blocos	3	19,02 ns	1.94 ns	139.93 *	2,05 ns	172,74 **
Resíduo	57	17,49	6.039	5.20	2,94	37,11

Fat=Fatorial Adc=Tratamento adicional Test=Tratamento testemunha ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Tabela 2 – Valores médios para matéria seca da parte aérea, matéria seca de raiz, P acumulado na parte aérea, P acumulado na raiz e P acumulado total sob diferentes doses de P após 49 dias da emergência em experimento realizado em casa de vegetação com controle de temperatura e umidade.

Tratamentos	Dose (kg ha ⁻¹)		
Matéria seca aérea (g)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	24,80 bcB	37,80 bA	43,94 bcA
Cama + Bayóvar	32,65 abB	40,92 abA	42,50 bcA
Cama + Bayóvar + ácido	24,85 bcB	39,20 abA	41,27 cA
Superfosfato triplo	21,65 cC	36,59 bB	44,83 abcA
Cama + superfosfato triplo	38,02 aB	42,87 abB	51,13 abA
Cama + Superfosfato triplo + ácido	33,89 aC	41,81 abB	51,36 aA
CV = 11,43%			
Matéria seca raiz (g)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	8,615 bB	15,25 abA	16,61 abA
Cama + Bayóvar	8,16 bB	14,31 abA	18,45 aA
Cama + Bayóvar + ácido	8,96 bB	14,21 abA	18,16 aA
Superfosfato triplo	8,56 bA	12,69 bA	12,45 bA
Cama + superfosfato triplo	17,08 aA	18,07 aA	17,80 aA
Cama + Superfosfato triplo + ácido	16,22 aA	13,87 abA	16,56 abA
CV = 18,31%			
P acumulado aérea (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	40,09 abB	54,04 aA	49,45 bcB
Cama + Bayóvar	39,40 abA	45,45 aA	47,45 cA
Cama + Bayóvar + ácido	31,30 bB	50,09 aA	45,20 cA
Superfosfato triplo	30,86 bB	51,16 aA	60,31 abA
Cama + superfosfato triplo	45,35 aC	57,20 ab	70,39 aA
Cama + Superfosfato triplo + ácido	47,11 aB	56,80 ab	67,78 aA
CV = 12,72%			
P acumulado raiz (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	4,786 abC	7,90 bB	12,15 bcA
Cama + Bayóvar	6,54 abB	8,19 bB	14,74 abA
Cama + Bayóvar + ácido	8,06 aC	12,47 ab	16,96 aA
Superfosfato triplo	4,44 bB	7,06 bB	7,77 dA
Cama + superfosfato triplo	6,51 abB	9,66 abA	9,88 cdA
Cama + Superfosfato triplo + ácido	7,71 abA	8,95 abA	9,95 cdA
CV = 20,29%			

P acumulado total (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	44,87 abcB	61,95 abA	61,60 bA
Cama + Bayóvar	45,94 abcB	53,65 bAB	62,19 bA
Cama + Bayóvar + ácido	39,36 bcB	62,57 abA	62,17 bA
Superfosfato triplo	35,30 cB	58,22 abA	68,09 abA
Cama + superfosfato triplo	51,86 abC	66,87 aB	80,27 aA
Cama + Superfosfato triplo + ácido	54,83 aC	65,75 abB	77,73 aA

CV = 11,05%

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro das doses e letras maiúsculas comparam as doses dentro de cada tratamento.

Tabela 3 – Valores de R^2 e coeficientes a, b e c para as curvas de regressão produzidas para matéria seca de parte aérea e raiz, P acumulado na matéria seca de parte aérea e raiz e P acumulado total.

Fertilizante	a	b	c	R^2
Matéria Seca da parte aérea				
Bayóvar	11,8195	0,39236	-0,00101	0,99566
Cama + Bayóvar	12,4545	0,60236	-0,00295	0,99742
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	11,4825	0,45269	-0,00165	0,98245
Superfosfato Triplo (SFT)	11,5705	0,30539	-0,00019	0,98849
Cama + SFT	13,4005	0,63414	-0,00275	0,96487
Cama + SFT + Ácido	12,9510	0,54165	-0,00190	0,98578
Matéria Seca da parte aérea				
Bayóvar	4,8410	0,13877	-0,00031	0,95785
Cama + Bayóvar	5,0065	0,09079	0,00019	0,98692
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	5,1270	0,10493	-0,00004	0,99578
Superfosfato Triplo (SFT)	5,0115	0,13041	-0,00055	0,96431
Cama + SFT	5,7480	0,32332	-0,00189	0,96047
Cama + SFT + Ácido	6,1870	0,23405	-0,00129	0,79891
P acumulado na parte aérea				
Bayóvar	17,4425	0,77231	-0,00418	0,99306
Cama + Bayóvar	18,5255	0,60101	-0,00304	0,98832
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	16,502	0,59330	-0,00285	0,93261
Superfosfato Triplo (SFT)	17,0325	0,43869	-0,00059	0,98455
Cama + SFT	18,8025	0,68931	-0,00222	0,99051
Cama + SFT + Ácido	18,9990	0,73872	-0,00284	0,98425
P acumulado na raiz				
Bayóvar	2,0015	0,05741	0,00022	0,99940
Cama + Bayóvar	2,3500	0,06325	0,00031	0,96379
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	2,0475	0,15381	-0,00025	0,99876
Superfosfato Triplo (SFT)	1,8580	0,08320	-0,00028	0,99016
Cama + SFT	1,8825	0,14856	-0,00068	0,99708
Cama + SFT + Ácido	2,1740	0,15235	0,00074	0,97617
P acumulado total				
Bayóvar	19,4440	0,82972	-0,00395	0,99614
Cama + Bayóvar	20,8760	0,66415	-0,00273	0,98172
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	20,8760	0,66415	-0,00273	0,97032
Superfosfato Triplo (SFT)	18,8905	0,52226	-0,00086	0,98518
Cama + SFT	20,6865	0,83766	-0,00290	0,99414
Cama + SFT + Ácido	21,173	0,89108	-0,00358	0,98314

APÊNDICE C

Tabela 1 – Quadrados médios para a variável matéria seca de parte aérea em todas as coletas realizadas em experimento de campo

Fonte	de GL	1 ^a coleta	2 ^a coleta	3 ^a coleta	4 ^a coleta	5 ^a coleta
Varição		(21dae)	(35 dae)	(49 dae)	(63 dae)	(105 dae)
Fontes de P	5	12,15 **	156,96 **	2731,92 **	8320,25 *	34102,97 ns
Dose	2	14,68 **	271,44 **	1067,21 ns	24779,54 **	13815,62 ns
Fonte x Dose	10	7,4 **	72,74 **	1146,78 ns	7114,92 *	4220,41 ns
Fonte x Adc+Test	1	15,96 **	404,13 **	601,06 ns	26688,91 **	9816,70 ns
Adc x Test	1	0,99 ns	19,38 ns	508,26 ns	3319,23 ns	99,68 ns
Tratamentos	19	9,56**	130,45 **	1493,22 **	10121,99 **	5094,91 ns
Blocos	2	11,12 **	215,91 **	9517,24 **	16388,07 **	3929,37 ns
Resíduo	38	1,2	16,9	604,9	2707,84	4629,5

Tabela 2 – Quadrados médios para a variável matéria seca de raiz em todas as coletas realizadas em experimento de campo

Fonte	de GL	1 ^a coleta	2 ^a coleta	3 ^a coleta	4 ^a coleta	5 ^a coleta
Varição		(21dae)	(35 dae)	(49 dae)	(63 dae)	(105 dae)
Fontes de P	5	16,5 **	0,82 ns	297,31 **	28,46 ns	7,31 ns
Dose	2	8,55 **	1,09 ns	46,90 ns	145,94 **	30,33 ns
Fonte x Dose	10	3,16 *	1,94 ns	94,70 **	28,75 ns	20,86 ns
Fonte x Adc+Test	1	56,36 **	13,10 **	1,43 ns	135,01 **	42,67 ns
Adc x Test	1	0,53 ns	0,44 ns	8,40 ns	0,11 ns	4,51 ns
Tratamentos	19	9,92 **	2,06 ns	133,54 **	45,17 ns	18,58 ns
Blocos	2	2,14 ns	20,48 **	99,80 *	62,58 ns	1,64 ns
Resíduo	38	1,16	1,58	22,40	26,24	19,79 ns

Tabela 3 – Quadrados médios para a variável P acumulado na matéria seca da parte aérea em todas as coletas realizadas em experimento de campo

Fonte	de GL	1 ^a coleta	2 ^a coleta	3 ^a coleta	4 ^a coleta	5 ^a coleta
Varição		(21dae)	(35 dae)	(49 dae)	(63 dae)	(105 dae)
Fontes de P	5	3827,36 **	74201,69**	36503,37 ns	7909,72 ns	19915,74 ns
Dose	2	3533,68 **	122633,8 **	49945,50 ns	58978,59 **	90225,54 *
Fonte x Dose	10	2402,12 **	45320,56 **	49691,42 *	15764,04 ns	34648,85 ns
Fonte x Adc+Test	1	7235,17 **	364654,1 **	139652,8 *	104328,5 **	252093,6 **
Adc x Test	1	332,82 ns	30205,07 ns	5429,36 ns	6232,31ns	5779,58 ns
Tratamentos	19	3041,75 **	77070,57 **	48652,85 *	22405,66 **	46546,91 *
Blocos	2	2827,02 **	157822,7 **	297232,4 **	61914,50 **	49135,32 ns
Resíduo	38	371,86	12386,41	22254,56	8461,93	23646,77

Tabela 4 – Quadrados médios para a variável P acumulado na matéria seca de raiz em todas as coletas realizadas em experimento de campo

Fonte	de GL	1 ^a coleta	2 ^a coleta	3 ^a coleta	4 ^a coleta	5 ^a coleta
Varição		(21dae)	(35 dae)	(49 dae)	(63 dae)	(105 dae)
Fontes de P	5	4615,25 **	184,31 ns	21350,81 **	578,79 ns	333,50 ns
Dose	2	1404,32 ns	9,73 ns	6813,24 **	3023,79 *	2097,07 **

Fonte x Dose	10	749,14 ns	204,26 ns	2401,46 *	602,16 ns	380,00 ns
Fonte x Adc+Test	1	13385,15 **	1132,32 *	3,73 ns	4294,35 *	1268,23 ns
Adc x Test	1	63,31 ns	277,48 ns	3119,08	411,92 ns	1,79 ns
Tratamentos	19	2464,46 **	231,232 ns	7764,11 **	1035,23 ns	575,34 ns
Blocos	2	12,42 ns	713,09 *	3128,92 *	3245,24 *	362,44 ns
Resíduo	38	442,21	210,89	852,72	706,25	351,42

Tabela 5 – Quadrados médios para as variáveis matéria seca de sabugo, P acumulado no sabugo, massa média de grãos por espiga e P acumulado no grão.

Fonte de Variação	GL	Matéria seca de sabugo	P acumulado no sabugo	Massa de grão/espiga	P acumulado no grão	P acumulado total
Fontes de P	5	52.40 *	45.71 ns	1007,15 *	29420.78 *	35049 ns
Dose	2	8,01 ns	233,88 ns	7437,37 **	117078,8 **	223775 **
Fonte x Dose	10	18.23 ns	233.47 ns	495,46 ns	7774.57 ns	11003 ns
Fonte x Adc+Test	1	320,52 **	419,60 ns	22697,1 **	132790,8 **	114974 *
Adc x Test	1	1,01 ns	402.66 ns	52,04 ns	30349.15 ns	4861 ns
Tratamentos	19	41.15 *	202,80 ns	2506,01 **	32744,57 **	44877 **
Blocos	2	13,34 ns	374.68 ns	119,32 ns	2606.68 ns	25648 ns
Resíduo	38	17,83	197,37 ns	389,84	8765,50	16020

Tabela 6 – Quadrados médios para as variáveis número de espigas coletadas por tratamento para o cálculo de rendimento, massa de grão por espiga, massa de 1000 grãos, P exportado por hectare e número de plantas por hectare em experimento de campo

Fonte de Variação	GL	Espigas coletadas	Massa de 1000 grãos	P exportado por hectare	Produtividade
Fontes de P	5	3,76 ns	211,59 ns	219,19 **	916513,6 **
Dose	2	1,24 ns	564,82 ns	799,81 **	5048364 **
Fonte x Dose	10	3,99 ns	245,55 ns	42,35 ns	440129,2 ns
Fonte x Adc+Test	1	3,42 ns	5279,61 **	742,67 **	13504367 **
Adc x Test	1	8,16 ns	431,44 ns	278,11 *	655,1106 ns
Tratamentos	19	3,83 ns	544,95 *	217,89 **	1715032 **
Blocos	2	4,31 ns	788,34 *	9,65 ns	251660,3 ns
Resíduo	38	2,83	232,01	47,93	916513,6

Tabela 7 – Valores médios para a interação fonte de P x dose para as variáveis: matéria seca de sabugo e grão, P acumulado no sabugo, grão e total, massa de 1000 grãos, massa de grãos por espiga, número de espigas coletadas por tratamento para o cálculo de produtividade, P exportado e Produtividade.

Tratamentos	Dose (kg ha ⁻¹)		
	40	80	120
Matéria seca sabugo (g)			
Fosfato reativo de Bayóvar	28,20	25,89	25,76
Cama + Bayóvar	23,19	21,23	25,91
Cama + Bayóvar + ácido	25,14	29,81	29,93
Superfosfato triplo	22,24	24,16	28,90
Cama + superfosfato triplo	32,02	29,50	27,45
Cama + Superfosfato triplo + ácido	28,11	30,24	28,65
	CV = 16,09%		
P acumulado sabugo (mg)	40	80	120

Fosfato reativo de Bayóvar	57,83	58,93	73,20
Cama + Bayóvar	55,35	60,43	80,37
Cama + Bayóvar + ácido	63,64	66,02	64,00
Superfosfato triplo	66,72	49,18	67,00
Cama + superfosfato triplo	79,53	63,30	60,53
Cama + Superfosfato triplo + ácido	62,37	67,52	63,48
	CV = 22,11%		
Massa de grão por espiga (g)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	130,75	149,11	142,57
Cama + Bayóvar	136,15	152,46	181,68
Cama + Bayóvar + ácido	122,03	182,44	175,74
Superfosfato triplo	127,05	173,21	178,05
Cama + superfosfato triplo	117,99	156,80	170,50
Cama + Superfosfato triplo + ácido	163,37	177,87	173,50
	CV = 13,19%		
P acumulado grão (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	28,94	37,03	40,13
Cama + Bayóvar	41,09	36,17	53,29
Cama + Bayóvar + ácido	29,99	54,42	54,10
Superfosfato triplo	36,60	48,26	56,33
Cama + superfosfato triplo	30,35	35,81	41,49
Cama + Superfosfato triplo + ácido	39,27	48,13	57,51
	CV = 22,75%		
P acumulado total (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	483,18	648,61	650,72
Cama + Bayóvar	680,16	635,58	872,19
Cama + Bayóvar + ácido	507,74	789,43	843,60
Superfosfato triplo	615,76	779,57	827,11
Cama + superfosfato triplo	535,24	628,78	747,28
Cama + Superfosfato triplo + ácido	642,12	730,40	858,02
	CV = 18,66%		
Nº de espigas coletadas/trat			
Fosfato reativo de Bayóvar	27,33	27,33	28,00
Cama + Bayóvar	28,33	30,00	29,33
Cama + Bayóvar + ácido	29,00	27,67	30,67
Superfosfato triplo	29,67	29,33	28,67
Cama + superfosfato triplo	27,33	28,00	30,00
Cama + Superfosfato triplo + ácido	30,00	28,67	27,33
	CV = 5,31%		
Massa de 1000 grãos (g)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	317,81	336,41	348,53
Cama + Bayóvar	331,06	338,29	335,64
Cama + Bayóvar + ácido	322,55	331,00	332,58
Superfosfato triplo	318,38	335,98	343,30
Cama + superfosfato triplo	330,85	315,96	318,56
Cama + Superfosfato triplo + ácido	323,31	340,98	326,58

CV = 4,65%			
P exportado (g m ⁻²)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	2,19	2,81	3,13
Cama + Bayóvar	3,23	2,96	4,32
Cama + Bayóvar + ácido	2,34	4,18	4,60
Superfosfato triplo	3,03	3,91	4,48
Cama + superfosfato triplo	2,30	2,79	3,46
Cama + Superfosfato triplo + ácido	3,25	3,83	4,35
CV = 21,10%			
Produtividade (g m ⁻²)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	990,56	1131,20	1119,06
Cama + Bayóvar	1071,00	1264,23	1478,00
Cama + Bayóvar + ácido	976,34	1403,97	1498,43
Superfosfato triplo	1051,08	1409,36	1417,63
Cama + superfosfato triplo	893,99	1222,44	1418,26
Cama + Superfosfato triplo + ácido	1358,37	1418,49	1314,22
CV = 13,26%			
P acumulado aérea 5 ^a coleta (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	108,23	194,15	155,68
Cama + Bayóvar	177,68	180,25	207,10
Cama + Bayóvar + ácido	91,27	105,67	175,77
Superfosfato triplo	141,63	211,93	113,17
Cama + superfosfato triplo	109,81	156,52	204,92
Cama + Superfosfato triplo + ácido	123,96	132,64	156,06
CV = 35,27%			
P acumulado raiz 5 ^a coleta (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	44,40	48,60	73,87
Cama + Bayóvar	36,19	46,52	51,83
Cama + Bayóvar + ácido	52,88	73,55	62,85
Superfosfato triplo	41,36	35,84	83,66
Cama + superfosfato triplo	42,38	50,90	66,95
Cama + Superfosfato triplo + ácido	63,08	48,95	63,38
CV = 32,79%			
P acumulado sabugo (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	28,94	37,03	40,13
Cama + Bayóvar	41,09	36,17	53,29
Cama + Bayóvar + ácido	29,99	54,42	54,10
Superfosfato triplo	36,60	48,26	56,33
Cama + superfosfato triplo	30,35	35,81	41,49
Cama + Superfosfato triplo + ácido	39,27	48,13	57,51
CV = 22,75%			
P acumulado grão (mg)	40	80	120
Fosfato reativo de Bayóvar	289,40	370,26	401,31
Cama + Bayóvar	410,94	361,71	532,89
Cama + Bayóvar + ácido	299,94	544,19	540,98
Superfosfato triplo	366,04	482,61	563,27

Cama + superfosfato triplo	303,51	358,06	414,88
Cama + Superfosfato triplo + ácido	392,72	481,29	575,11
	CV = 22,75%		

Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de cada dose e letras maiúsculas comparam as doses dentro de cada tratamento.

Tabela 8 – Valores de R² e coeficientes a, b e c para as curvas de regressão produzidas para P acumulado na parte aérea, raiz, grão e sabugo, P acumulado total e Produtividade.

Fertilizante	a	b	c	R ²
P acumulado total				
Bayóvar	569,57	0,8287	-0,00085	0,85219
Cama + Bayóvar	591,14	-0,6388	0,02380	0,90326
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	546,76	0,4254	0,01907	0,79002
Superfosfato Triplo (SFT)	563,63	2,1566	0,00116	0,93611
Cama + SFT	570,18	-1,4580	0,02483	0,97665
Cama + SFT + Ácido	576,51	1,1924	0,00955	0,99965
P acumulado na parte aérea				
Bayóvar	81,203	1,7482	-0,0087	0,71683
Cama + Bayóvar	96,277	2,0029	-0,0094	0,9231
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	92,936	-0,634	0,01089	0,98232
Superfosfato Triplo (SFT)	89,921	1,859	-0,01243	0,99357
Cama + SFT	89,547	0,4203	0,0046	0,99565
Cama + SFT + Ácido	92,809	0,6925	-0,00151	0,96493
P acumulado na raiz				
Bayóvar	40,085	-0,0997	0,00310	0,96528
Cama + Bayóvar	38,064	-0,0294	0,00126	0,89216
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	37,064	0,69221	-0,00385	0,88819
Superfosfato Triplo (SFT)	39,0325	-0,1054	0,00397	0,99994
Cama + SFT	39,091	-0,0059	0,00198	0,99937
Cama + SFT + Ácido	39,31	0,0043	0,00161	0,99324
P acumulado no grão				
Bayóvar	197,22	2,8260	-0,00924	0,99666
Cama + Bayóvar	223,31	3,1390	-0,00633	0,79777
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	179,69	5,1219	-0,01624	0,91592
Superfosfato Triplo (SFT)	199,96	4,6368	-0,01346	0,99986
Cama + SFT	201,84	2,6434	-0,00741	0,99466
Cama + SFT + Ácido	204,75	4,9091	-0,01557	0,99212
P acumulado no sabugo				
Bayóvar	45,823	-0,4385	0,00337	0,71636
Cama + Bayóvar	48,432	-0,4074	0,00366	0,87209
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	44,070	-0,2091	0,00267	0,4371
Superfosfato Triplo (SFT)	46,098	-0,2577	0,00295	0,82765
Cama + SFT	46,286	-0,4569	0,00355	0,84621
Cama + SFT + Ácido	46,576	-0,2303	0,00274	0,91879
Produtividade				
Bayóvar	740,79	8,0391	-0,04056	0,99892
Cama + Bayóvar	750,85	8,1350	-0,01783	0,99587
Cama + Bayóvar + Ácido Cítrico	716,71	9,3364	-0,02169	0,96353
Superfosfato Triplo (SFT)	723,08	11,574	-0,04683	0,9754
Cama + SFT	727,58	5,0427	0,00702	0,98296
Cama + SFT + Ácido	762,62	17,925	-0,11243	0,97406