

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RODRIGO SAKURADA LIMA

Caracterização e eficiência agronômica de fertilizantes organominerais fosfatados  
sólidos no desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays* L.)

Maringá  
2015

RODRIGO SAKURADA LIMA

Caracterização e eficiência agronômica de fertilizantes organominerais fosfatados sólidos no desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays* L.)

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Batista.

Coorientador: Prof. Dr. Tadeu Takeyoshi Inoue.

Maringá  
2015

S531c **SAKURADA L.**, Rodrigo

**Caracterização e eficiência agronômica de fertilizantes  
Organominerais fosfatados sólidos no desenvolvimento  
Inicial do milho (*Zea mays L.*). Rodrigo Sakurada Lima.  
Maringá-Pr.: UEM., 2015.  
112 p.**

**Mestrado em Agronomia**

Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Marcelo Augusto Batista

Coorientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Tadeu Takeyoshi Inoue

1. Fósforo . 2. Cama de Aviário. 3. Fertilizantes Orgânicos.
4. Disponibilidade de Fósforo. 5. FTIR. Universidade Estadual  
de Maringá-UEM. I. Título.

CDD 22<sup>a</sup> Ed. 640

NBR 12899 - AACR/2

Ficha Catalográfica elaborada pelo Bibliotecário João Vivaldo de Souza – CRB-8 - 6828

RODRIGO SAKURADA LIMA

CARACTERIZAÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES  
ORGANOMINERAIS FOSFATADOS SÓLIDOS NO DESENVOLVIMENTO  
INICIAL DO MILHO (*Zea mays* L.)

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2015.

Prof. Dr. Marcelo Augusto Batista  
Presidente

---

Prof. Dr. Antonio Saraiva Muniz  
Membro

---

Prof. Dr. Tadeu Takeyoshi Inoue  
Membro

---

Prof. Dr. Adilson De Oliveira Junior  
Membro

---

Dedico este trabalho...

...aos meus pais, Paulo e Tiemi, e ao meu irmão, Rafael, que são meu alicerce e sempre me deram a tranquilidade para que eu pudesse fazer minhas escolhas e realizar minhas vontades, muitas vezes a custo de muito sacrifício. Espero um dia poder retribuí-los por tudo isso.

...ao meu ditian Maçar e minha batian Eico,  
que são a maior inspiração da minha vida e  
me mostram até hoje como construir uma família.

... à Thalinni, por tudo que representa para mim e que tem me mostrado como é bom ser feliz ao lado da pessoa que amamos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Cara todo poderoso por me permitir terminar mais uma etapa.

À Universidade Estadual de Maringá (UEM), que há 8 anos tem sido minha segunda casa e da qual tenho muito orgulho, por me oferecer a oportunidade de crescer como pessoa e profissional.

Ao professor Marcelo Augusto Batista, sou profundamente grato pela oportunidade e confiança que me foi dada ao ser aceito como seu primeiro orientado, obrigado por todo o apoio, paciência, orientação, conselhos e amizade.

Ao professor e amigo Tadeu Takeyoshi Inoue, pelos conselhos e ajudas em momentos difíceis, pela coorientação, pelas oportunidades e por todo o suporte que tem me dado. Serei eternamente grato.

Aos professores Antônio Saraiva Muniz, Antônio Carlos Saraiva da Costa, Cássio Antonio Tormena e Paula Toshimi Matumoto Pintro, por me permitirem utilizar seus equipamentos e laboratórios para realização de análises.

Ao professor Antonio Medina Neto, do Departamento de Física da UEM, pelo auxílio com as análises físicas dos fertilizantes.

À amiga e professora Francielle Sato, do Departamento de Física da UEM, pela ajuda com as análises de FTIR, meu muito obrigado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGA), em especial à Erika, Reinaldo e Júlio por toda atenção, paciência e ajuda.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos técnicos dos laboratórios do departamento de Agronomia e Zootecnia, que me ajudaram e auxiliaram nas análises (Roberto Carlos, Ivan, Reinaldo, Anderson, Silvia, Augusto e Creuza).

Às técnicas do COMCAP, Natália, Suzana e Márcia, que foram muito atenciosas e muito me ajudaram e auxiliaram em minhas análises.

Aos amigos e companheiros pós-graduandos do PGA, Cleyton, Alini, Patrícia, Fred, Rodolfo, Camila, Jota, Evandro, Mari Brescansin, Giovanna e Kazumi.

Aos amigos do GESSO (Grupo de Estudo em Solos).

À empresa MINORGAN e ao pesquisador Vinicius de Melo Benites (EMBRAPA SOLO), pelo fornecimento dos fertilizantes que foram analisados neste trabalho.

Aos amigos de longa data, Denis, Maykon, Samara, Erick, Sabrina e Magrela, pelo companheirismo, apoio, preocupação, carinho e cuidado que sempre tiveram por mim.

Aos amigos do Taiko, que tem me acompanhado e sempre me incentivaram a seguir firme e em frente.

Ao Rui, Márcia, Michael, Kall e Mell, minha segunda família, muito obrigado pelo carinho, cuidado e preocupação que vocês têm para comigo. Serei eternamente grato.

À Thalinni, que durante inúmeros dias me ajudou diretamente durante o andamento deste trabalho, nas avaliações, análises, algumas vezes até o adiantado da noite, abrindo mão de seu descanso. Desculpe pelos momentos de ausência. Obrigado pela ajuda, paciência, compreensão, dedicação e carinho. Sem você eu não teria conseguido chegar até aqui. Amo muito você.

Ao Ditian, Batian, Tia Toshico, Tio Haluo, Tia Lurico, Pati, Josi, Henrique, Lucas, Gabi, Dudu e Geovana, obrigado por cuidarem de mim desde o dia em que eu nasci. Obrigado por ser a família mais maravilhosa que eu poderia ter e contar. Amo vocês.

À minha família, meus pais, Paulo e Tiemi, e meu irmão, Rafael, por me mostrarem o verdadeiro significado da palavra amor e união. Obrigado por me darem todo o suporte que eu precisei pra conseguir com este trabalho finalizado. Devo minha vida a vocês.

## Caracterização e eficiência agronômica de fertilizantes organominerais fosfatados sólidos no desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays* L.)

### RESUMO

O fósforo (P) é o nutriente mais limitante de produção em solos de regiões de clima tropical. Esta característica decorre da alta capacidade que esses solos têm em fixar o P de modo que fique indisponível para que as plantas o absorvam. Dessa forma, o aumento da eficiência dos fertilizantes fosfatados, o uso de fontes alternativas aos minerais e o manejo adequado tornam-se ferramentas importantes para minimizar este problema. Assim sendo, este trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar a eficiência agronômica e o efeito residual de fertilizantes organominerais fosfatados no desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays* L.) quando cultivado com diferentes fertilizantes formulados NPK (5-20-2 organomineral granulado – OG, 3-15-2 organomineral mistura de grânulos – OM e 3-15-2 mineral mistura de grânulos – MM) e doses de P em um Latossolo Vermelho eutroférico. Foram determinados quimicamente para cada fertilizante o pH, os teores de N, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, carbono, ácido húmico e fúlvico. Foram determinados os teores P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> considerados totais, solúvel em água, em citrato neutro de amônio e ácido cítrico. Os fertilizantes estudados ainda foram caracterizados quanto a granulometria, a umidade e por Espectroscopia de Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). O experimento foi realizado em casa de vegetação utilizando vasos com 5 kg de solo. Foram enterrados saches contendo os fertilizantes OG, OM e MM com as doses de 0, 25, 50, 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P. A quantidade de fertilizantes para cada dose foi definida de acordo com os teores de P encontrados na caracterização. Foram realizados 4 cultivos sucessivos nos mesmos vasos sendo conduzidas duas plantas de milho por vaso. No 35º dia as plantas eram avaliadas, cortadas e preparadas para análises de teores de P, N, K, Ca e Mg na massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas. Os três fertilizantes analisados não se encontram de acordo com a IN 25/2009 e IN 05/2007, as quais estabelecem normas sobre as especificações e garantias físicas e químicas necessárias e obrigatórias. O P solúvel em ÁGUA dos três fertilizantes apresentou valor muito semelhante, embora o P solúvel em CNA+ÁGUA entre eles tenha se mostrado diferente. Por meio da análise de FTIR, pode-se observar a presença de compostos orgânicos alifáticos, proteicos, lipídicos, embora estes não tenham sido quantificados. As respostas dos dados biométricos e dos teores de P da MSPA às diferentes doses de P e aos fertilizantes apresentaram

ajustes quadráticos inicialmente, porém, ao longo dos cultivos, passaram a ter tendências lineares. O fertilizante MM foi superior ao OG e OM por apresentar maior MSPA acumulada. O índice SPAD mostrou comportamento similar aos teores de P na MSPA, mostrando que houve resposta às diferentes doses de P, de modo que os valores SPAD foram maiores quando as plantas obtiveram melhor desenvolvimento. No somatório dos 4 cultivos, as plantas adubadas com OM e MM não diferiram entre si e apresentaram maior P acumulado e IRP em relação ao OG. De modo geral, observou-se que o fertilizante OM apresentou melhor desempenho do que OG, com exceção do primeiro cultivo.

**Palavras-chave:** Fósforo. Cama de aviário. Fertilizantes orgânicos. Disponibilidade de fósforo. FTIR.

## Characterization and agronomic efficiency of solid organomineral phosphate fertilizers in the initial development of corn (*Zea mays* L.)

### ABSTRACT

Phosphorus (P) is the most limiting nutrient production in tropical regions soils. This feature stems from the high capacity that these soils have to fix the P, so that gets unavailable to the plants absorbs it. Thus, the increased efficiency of phosphate fertilizers, the use of alternative sources to the minerals and the proper management are important tools to minimize this problem. Therefore, this study aimed to characterize and to evaluate the agronomic efficiency and the residual effect of solid organomineral phosphate fertilizers in the initial development of maize (*Zea mays* L.) when cultivated with different NPK formulated fertilizers (5-20-2 granulated organomineral - OG, 3-15-2 mixture of granules organomineral - OM and 3-15-2 mixture of granules mineral - MM) and P levels in an Oxisol. For the characterization, physical and chemical fertilizer analyzes were performed for determination of pH, the content of N, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, carbon, humic acid and fulvic. The P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content determined were the total, soluble in water, in neutral ammonium citrate (CNA) and in citric acid. The fertilizers were further characterized for the particle size, moisture and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The experiment was conducted in a greenhouse using pots with 5 kg of soil. Sachets containing OG, OM and MM fertilizers with doses of 0, 25, 50, 100 and 200 mg kg<sup>-1</sup> of P were buried in the soil. The amount of fertilizer for each dose was defined according to the total P level found in the characterization. There were performed 4 successive cultivations in the same pot being conducted two corn plants per pot. After 35 days the plants were evaluated, cut and prepared for analysis of levels of P, N, K, Ca and Mg in the dry mass of shoot (MSPA). The three analyzed fertilizers are not in accordance with the IN 25/2009 and the IN 05/2007, which establish standards for the physical and chemical specifications and guarantees necessary and mandatory for fertilizers. The three fertilizers presented the P soluble in water value very similar, although the P soluble in CNA + WATER among them has proved different. By means of FTIR analysis, it was observed the presence of organic aliphatic compounds, protein, lipid, although these have not been quantified. The biometric data and P contents in the MSPA to different doses of P and fertilizers showed quadratic settings initially, but over the cultivations, it have shown linear trends. The MM fertilizer was superior to the OG and OM due to its higher accumulated

MSPA. The SPAD index showed similar behavior to the P content in the MSPA, showing that there was response to different doses of P, so that SPAD values were higher when the plants had better development. In the sum of the four cultivations, plants fertilized with OM and MM did not differ and showed higher P accumulated and P Recovery Index in relation to OG. In general, it was observed that OM fertilizer showed better performance than OG, except in the first cultivation.

Keywords: Match. Poultry litter. Organic fertilizer. Phosphorus availability. FTIR.

## Sumário

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 HIPÓTESE.....	3
1.2 OBJETIVO GERAL.....	3
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3 REFERÊNCIAS.....	5
CAPÍTULO II.....	6
REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1 O FÓSFORO (P).....	6
2.2 O FÓSFORO NO SOLO.....	7
2.3 FÓSFORO NA PLANTA.....	11
2.4 CAMA DE AVIÁRIO.....	12
2.5 ADUDOS FOSFATADOS.....	15
2.6 REFERÊNCIAS.....	18
CAPÍTULO III.....	27
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS E MINERAL FOSFATADOS SÓLIDOS.....	27
3.1 RESUMO.....	27
3.2 ABSTRACT.....	28
3.3 INTRODUÇÃO.....	29
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
3.6 CONCLUSÕES.....	43
3.7 REFERÊNCIAS.....	44
CAPÍTULO IV.....	48
EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E EFEITO RESIDUAL DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS FOSFATADOS SÓLIDOS NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MILHO ( <i>Zea mays</i> L.) EM UM LATOSSOLO.....	48
4.1 RESUMO.....	48
4.2 ABSTRACT.....	49
4.3 INTRODUÇÃO.....	50
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57

4.5.1 DADOS BIOMÉTRICOS.....	57
4.5.2 TEORES DE MACRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS .....	74
4.6 CONCLUSÃO .....	89
4.7 REFERÊNCIAS .....	90
ANEXOS .....	93

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO GERAL

No ano de 2013, a população mundial e brasileira ultrapassaram as marcas de 7,2 bilhões e 200 milhões de pessoas, respectivamente. As projeções indicam que a população mundial poderá chegar a 8,1 e 9,6 bilhões de pessoas nos anos de 2025 e 2050. Devido a esse contínuo aumento populacional, a necessidade de mais alimentos passa a requerer mais atenção. Dessa forma, a inovação de técnicas que auxiliem no aumento da produção de alimentos torna-se fundamental para evitar uma possível escassez futura.

O aumento da produtividade dos produtos agrícolas pode ser a grande resposta para o aumento da produção de alimentos, porém, é também o maior desafio. Embora o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de produção e manejo agrícola sejam as formas ideais para esse aumento, elas levam tempo e muitas vezes não geram resultados muito impactantes de imediato. Com este cenário, o aumento de áreas agrícolas, infelizmente, passa a ser uma possibilidade que embora possível, devesse ser evitada ao máximo em razão dos grandes impactos ambientais que podem vir a ser gerados.

Ainda assim, vários são os fatores que podem auxiliar no aumento da produtividade das nossas culturas, como o melhoramento genético, o uso de irrigação, melhor manejo de pragas e doenças, melhor manejo do solo e principalmente o uso de fertilizantes. Os fertilizantes têm um papel muito importante, pois com o aumento do seu uso as novas variedades das culturas puderam expressar o seu potencial produtivo, de modo que nas últimas duas décadas, tratando-se somente de soja e milho, a produtividade brasileira aumentou de 2175 e 2356 kg ha<sup>-1</sup>, safra 1995/96, para projeções, para o ano de 2015, de 3033 e 5146 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CONAB, 2015). Nesse mesmo período, o consumo de fertilizantes praticamente triplicou.

Dentro deste contexto, a adubação é um fator fundamental para produção agrícola, pois é por meio dela que são fornecidos os nutrientes necessários que possibilitam às plantas terem um desenvolvimento pleno. Porém, muitas vezes, a aplicação de fertilizantes é feita sem critério, fazendo com que perca sua eficiência, não promovendo o efeito desejado. E dentre estes, os

fertilizantes fosfatados apresentam um problema maior quanto ao seu comportamento em solos de clima tropical.

Devido as suas características, solos de clima tropical possuem baixos teores disponíveis de fósforo (P) (Bonser et al., 1996; Rocha et al., 2005), que somada a sua baixa mobilidade no solo podem torná-lo um fator limitante ao desenvolvimento das plantas (Costa et al., 2009). Assim, devido à importância do P para o desenvolvimento das culturas, há a necessidade de adubações fosfatadas rotineiramente no cultivo das culturas.

A maior parte da adubação fosfatada é realizada por meio de fertilizantes minerais, oriundos de rochas fosfáticas submetidas aos diversos tratamentos físicos e/ou químicos. Entretanto, fontes alternativas às minerais têm sido muito utilizadas, destacando-se as fontes orgânicas, podendo estas ser resíduos de indústria, como torta de cana, lodo de esgoto, lixo urbano, compostagem com folhas de árvores e resíduos animais. Dentre estas, os resíduos animais, especialmente a cama de aviário, estão sendo muito utilizados na agricultura como fontes alternativas que vem apresentando potencial no fornecimento de nutrientes, principalmente em estados produtores e abatedores de aves, como Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo.

O estado do Paraná vem se destacando nos últimos anos como o maior produtor de carne de frango do Brasil, responsável por mais de 30% dos abates no ano de 2012 (UBABEF, 2013). Toda esta cadeia produtiva de aves gera uma produção nacional de cama de aviário de aproximadamente 8 milhões de toneladas por ano (Benites et al., 2010). Em algumas áreas agrícolas, o uso da cama de aviário está sendo feito *in natura*, porém, quando aplicado dessa forma, a cama de aviário é um fertilizante pouco concentrado e de composição variável, podendo não atender toda a demanda da planta por nutrientes.

Dessa forma, a associação do fertilizante orgânico ao mineral, dando origem ao organomineral, é uma alternativa por juntar os benefícios de ambos os produtos. Trabalhos têm mostrado a eficiência da utilização da cama de aviário como fertilizante orgânico passível de ser utilizado em grandes culturas. Porém, ainda há poucos trabalhos publicados abordando a interação das adubações orgânica e mineral. Estima-se hoje que o mercado de organominerais seja de aproximadamente 17% do mercado de fertilizantes no Brasil e que a perspectiva de crescimento é de 10% ao ano (Benites et al., 2010), porém pouca ou nenhuma informação oficial tem-se encontrado.

Assim, o presente trabalho está disposto em quatro capítulos com o objetivo estudar e avaliar as características e eficiência dos fertilizantes organominerais fosfatados. No capítulo I, há uma breve explanação da dissertação; no capítulo II, é apresentada uma revisão de literatura, onde constam os temas com as informações mais importantes que circundam o trabalho; no capítulo III, denominado “Caracterização física e química de fertilizantes organominerais e mineral fosfatados sólidos”, são apresentados os resultados de análises físicas e químicas dos fertilizantes estudados; e no capítulo IV, denominado “Eficiência agrônômica e efeito residual de fertilizantes organominerais fosfatados sólidos no desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo”, estão os resultados da avaliação da eficiência dos fertilizantes para plantas de milho.

Sendo assim, a sequência de trabalhos presentes nesta dissertação procura contribuir para o melhor entendimento das características dos fertilizantes organominerais, além de compreender quais as causas dos efeitos resultante do seu uso em plantas de milho.

## **1.1 HIPÓTESE**

A eficiência do fertilizante fosfatado organomineral é igual ou superior à eficiência do fertilizante mineral quando utilizadas doses iguais do nutriente em um mesmo solo e uma mesma planta independente do tipo de mistura (granulada ou mistura de grânulos).

## **1.2 OBJETIVO GERAL**

Caracterizar, avaliar a eficiência agrônômica imediata e residual de fertilizantes organominerais fosfatados no desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays* L.) quando cultivado com diferentes fontes de fertilizantes (organomineral granulada, organomineral mistura de grânulos e mineral mistura de grânulos) e doses de P em um Latossolo Vermelho eutroférico.

### **1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Enumerar as características dos fertilizantes organominerais granulado e mistura de grânulos e fertilizantes minerais por meio de análises químicas e físicas;
- Verificar se os fertilizantes atendem as especificações e garantias obrigatórias segundo a legislação.
- Avaliar o desenvolvimento do milho em resposta à utilização de diferentes fertilizantes, por meio de dados biométricos, teores de nutrientes na massa seca da parte aérea das plantas e análise conjunta de ambos de modo a verificar a influência de um sobre o outro.
- Avaliar qual o melhor tipo de fertilizante (mineral ou organomineral) e qual a melhor natureza física para fertilizantes organominerais (granulado ou mistura de grânulos);
- Estabelecer, com base nos dados, qual foi o melhor fertilizante.

### 1.3 REFERÊNCIAS

BENITES V. DE M.; CORREA J. C.; MENEZES J. F. S.; POLIDORO J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. BRASIL. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, 2010.

BONSER, A. M.; LYCH, J. P.; SIEGLINDE, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. *New Phytologist*, v.132, p.281-288, 1996.

CONAB. Brasil - Série histórica de produtividade safras 1976/77 a 2014/15. 2015. Acessado em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O. SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 229-235, 2009.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

UBABEF. Relatório anual 2013. União Brasileira de Avicultura. Disponível em: <<http://www.ubabef.com.br/publicacoes>>

# CAPÍTULO II

## REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O FÓSFORO (P)

Por ser um elemento essencial para o crescimento das plantas, o fósforo (P) é um dos três elementos minerais mais requeridos pelos vegetais, juntamente com nitrogênio e potássio. Compõe os macronutrientes primários, que são elementos exigidos em proporções maiores pelas plantas (Malavolta et al., 1997).

Tendo seus teores médios variando de 0,5 a 3,0 g kg<sup>-1</sup> de massa seca das plantas, o P está envolvido em inúmeros processos metabólicos e bioquímicos nas plantas, destacando-se a transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicólise, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação e desativação de enzimas, reação redox, metabolismo de carboidratos, fixação de N<sub>2</sub> e etapas das vias C3 e C4 do ciclo de Calvin (Dechen & Nachtigall, 2007; Vance et al., 2003, Novais & Smyth, 1999).

Com teor médio na litosfera de 2,8 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> constitui cerca de 0,12% da crosta terrestre, podendo também ser encontrados teores totais de 5,0 g kg<sup>-1</sup>, porém, em muitos solos, esses valores são de 0,2 a 0,8 g kg<sup>-1</sup> (Fassbender, 1994; Stevenson & Cole, 1999).

Grande parte do P presente nos solos está na forma não lábil, ou seja, fixado ou não prontamente disponível para planta. Em solos tropicais sob sistema de plantio convencional, de todo o P aplicado, somente 15 a 30% é aproveitado pela planta, o restante torna-se rapidamente indisponível devido principalmente ao processo de fixação sofrida pelos íons fosfato (Novais & Smyth, 1999; Kiehl, 2010). Em razão disso, eram necessárias aplicações de P em grandes quantidades para obtenção de altas produtividades, uma vez que, mesmo o teor total de P no solo sendo alto, a maior parte deste tornava-se não lábil. Entretanto, no sistema de plantio direto, o aproveitamento dos fertilizantes é maior devido ao tipo de manejo que promove menor revolvimento do solo, reduzindo, assim, o contato entre os colóides do solo e o íon fosfato e, por conseguinte, o processo de adsorção (Anghinoni, 2007).

A disponibilidade do P para as plantas é influenciada pelo pH do solo, prevalecendo a forma do ânion monovalente ortofosfobiácido ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) em solos com pH abaixo de 7,2, denominado P inorgânico (Pi), sendo a forma preferencialmente absorvida pelas plantas (Sentenac & Grignon, 1985).

## 2.2 O FÓSFORO NO SOLO

Os solos de clima tropical caracterizam-se por possuírem alto grau de intemperismo e baixos valores de fósforo (P) (Bonser et al., 1996; Rocha et al., 2005). Em virtude disso, os baixos teores no solo e a baixa mobilidade deste elemento podem torná-lo um fator limitante ao desenvolvimento das plantas. Costa et al., (2009), em experimento de 18 anos, onde avaliou a dinâmica de distribuição de nutrientes e raízes no perfil do solo e seu efeito na absorção de nutrientes e no desenvolvimento da cultura do milho, concluíram que as concentrações de P disponíveis e a densidade de raízes foram maiores nas camadas superiores e diminuíram com a profundidade, confirmando a baixa mobilidade do P no solo.

O P no solo pode ser encontrado na forma iônica em compostos na solução do solo; adsorvido e fixado aos colóides do solo; minerais cristalinos e amorfos de P; e componente da matéria orgânica (Barber, 1984). O P mineral é encontrado na solução do solo, principalmente, na forma do íon fosfato, predominando a forma  $\text{HPO}_4^{2-}$  em solos alcalinos e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  em solos ácidos (Brady & Weil, 2012). E o P orgânico (Po) pode ser encontrado na forma de fosfolipídios, ácidos nucleicos e fosfatos de inositol e seus teores nos solos podem ser maiores de  $2 \text{ g kg}^{-1}$ , podendo variar de 20 a 80% do P total do solo. A liberação, desta forma, de P para a solução do solo para que possa ser absorvido pelas plantas, depende da atividade microbiana do solo e da capacidade de mineralização da matéria orgânica (Stevenson & Cole, 1999).

A dinâmica do P no solo e a sua compreensão têm levado muitos pesquisadores a estudarem as particularidades deste elemento e seu comportamento em diferentes tipos de solo. O grande problema que circunda o P está relacionado à grande capacidade que alguns solos têm em reter este elemento, de modo a ficarem fixados e, por conta disso, indisponíveis às plantas.

Além de ser encontrado na solução do solo e, portanto, prontamente disponível para que as plantas o possam absorver, o P pode estar na forma lábil e disponível ou não-lábil e não

disponível. Em condições de solos tropicais, grande parte do P não está prontamente disponível para as plantas. Esse fato ocorre devido aos processos de retenção deste elemento no solo, que englobam mecanismos de adsorção, precipitação e fixação. Os óxidos de Fe e Al, MO do solo e Ca trocável são os principais envolvidos nesses processos (Novais & Smyth, 1999). O P-lábil refere-se ao P adsorvido que se encontra em equilíbrio com o P da solução do solo, dessa forma, à medida que o P da solução vai sendo absorvido pela planta, parte do P-lábil vai para solução de modo a manter o equilíbrio. Já o P não-lábil está fora deste equilíbrio, referindo-se a quantidade de P fixado no solo, considerado por alguns como uma forma não reversível de P (Novais & Smyth, 1999).

Por conta de sua alta área superficial específica, a fração argila do solo é a mais ativa para o processo de adsorção e fixação do que solos de granulometria mais grossa (Novais & Smyth, 1999; Valladares et al., 2003), tendo nos teores de Fe e Al alguns dos atributos que apresentam maior correlação com a capacidade máxima de adsorção de fósforo – CMAP (Hernández & Meurer, 1998). Gonçalves et al. (2011), avaliando a sorção de P em solos do Rio Grande do Sul em períodos de alagamento, concluíram que os solos originados do basalto por possuírem maiores teores de Fe apresentaram maior capacidade de adsorver P do que solos derivados do arenito e do granito. A capacidade dos solos em adsorver P é maior nos horizontes inferiores de solos muito intemperizados em virtude da redução dos teores de matéria orgânica ao longo do perfil do solo, como observado por Almeida et al., (2003) em Latossolos originados do basalto.

A adsorção de P ocorre por dois processos, inicialmente por meio de atração eletrostática e posteriormente o fosfato é reversivelmente adsorvido por troca aniônica, sendo formado um complexo de esfera externa. Quando se aplica uma fonte solúvel de P ao solo, em torno de 90% é adsorvido na primeira hora (Novais & Smyth, 1999). Ao longo do tempo, os íons fosfato passam a sofrer interações tornando-se cada vez mais indisponíveis, ocorrendo a formação de complexos de esfera interna, que também podem ser chamados de adsorção específica (Parfitt et al., 1975; Parfitt, 1978; Sposito, 1984), promovendo a fixação do P. A primeira delas se dá por reações com superfícies de óxidos de Fe ou Al de modo que há a troca de ligantes com um íon fosfato substituindo um grupo  $\text{OH}^-$  ou  $\text{OH}_2^+$  dos oxidróxidos. Posteriormente, o fosfato penetra na superfície mineral formando uma ponte binuclear ou

bidentada, que possui um grau de estabilidade muito maior e tornando o fosfato cada vez mais indisponível (Brady & Weil, 2012).

A precipitação é uma reação entre o P e as formas iônicas de Fe, Al e Ca que resulta na formação de compostos de baixa solubilidade. Em solos ácidos, a tendência é a formação de fosfatos de Al e Fe que são mais estáveis nesse meio, e com o passar do tempo essa estabilidade aumenta, diminuindo a possibilidade de dessorção do fosfato (Novais & Smyth, 1999).

Vilar et al. (2010) observaram que as formas de Al apresentam maior correlação com a CMAP quando comparadas às formas de Fe e a que solubilidade desses compostos aumenta com o aumento do pH do meio. Além disso, observaram que o P remanescente pode ser utilizado na estimativa da CMAP. De modo contrário, a formação de fosfatos de Ca acontece em solos calcários ou em condições alcalinas, tendo sua solubilidade aumentada com o aumento da acidez do solo (Olsen & Khasawneh, 1980).

Como as reações de precipitação geralmente acontecem em condições de  $Al^{3+}$  ou  $Fe^{3+}$  na solução solo, a calagem passa a ser alternativa de manejo, com a finalidade de correção de pH do solo e redução da atividade do  $Al^{3+}$ , que podem auxiliar na redução dessa reação. Devido a maior difusão dessas práticas em áreas agrícolas, as quantidades de Fe e Al encontradas na solução do solo não têm sido suficientes para precipitar quantias significantes de P, tendo de certa forma menor importância que a fixação (Khasawneh et al., 1980).

Sato & Comerford (2005) observaram que o aumento do pH por efeito de calagem reduziu a adsorção de P e aumentou a dessorção de P. A redução da CMAP está ligada ao aumento da CTC solo gerada pela calagem, fazendo com que haja um aumento da repulsão eletrostática dos colóides do solo ao ânion fosfato devido ao aumento das cargas negativas em sua superfície. Corroborando com estes resultados, Nolla & Anghinoni (2006) também chegaram ao aumento da capacidade de retenção de P pelo solo à medida que o pH diminui, e relacionaram isso ao maior teor de Al trocável, que por ter alta capacidade em reter o fosfato formam precipitados.

Seguindo linhas de pesquisa que procuram entender os fatores que promovem a redução da adsorção do P, Cessa et al. (2010) observaram que a presença de ácido fúlvico incubado nas frações argila foi capaz de reduzir adsorção de P, mostrando o efeito benéfico que a adição ao solo de materiais que promovam aumento de ácidos orgânicos pode favorecer a disponibilidade de P às plantas. Dessa forma, ressalta-se a importância da MO na redução da adsorção do P e que

qualquer prática de manejo que vise à manutenção e aumento dos teores de MO ao solo pode contribuir para o maior aproveitamento do fósforo pelas culturas. O manejo que promova a manutenção e o aumento de MO no solo tende a tornar o sistema mais autossuficiente e não tão dependente de fertilizações maciças de P (Novais & Smyth, 1999).

O P no solo passa a apresentar diferentes comportamentos de acordo como o tipo de fonte, manejo e cultura. Ramos et al. (2010) concluíram que quando sem cultivo prévio de gramíneas a maior produção de matéria seca e produção de feijão aconteceu quando a aplicação foi feita com fontes mais solúveis de P. Entretanto, quando aplicadas fontes menos solúveis na sucessão gramíneas/feijão, as respostas foram melhores do que as com aplicações de superfosfato triplo. Corrêa et al. (2004), avaliando efeito de doses de P e resíduos de plantas de cobertura na dinâmica de P no solo, observaram que espécies de cobertura influenciam a movimentação do P no perfil do solo. Gebrim et al. (2010) observaram maior percolação do  $P_o$ , em condições naturais de baixa disponibilidade de P, quando comparado ao  $P_i$  e que o uso da cama de aviário em solos pré tratados com P aumentou a percolação principalmente de  $P_o$ , mostrando a baixa interação do  $P_o$  com o solo.

Conte et al. (2003), determinando as formas preferenciais de acúmulo do P proveniente de adição de doses de fosfato solúvel em Latossolo no sistema plantio direto (SPD) por mais de cinco anos, observaram que a aplicação de fosfato ao solo promoveu o aumento dos teores de  $P_i$  e a diminuição do  $P_o$ . Porém, em solos com baixa ou nenhuma adição de fertilizantes, o  $P_o$  é o principal fornecedor de P às plantas (Gatiboni et al., 2007). Martinazzo et al. (2007), avaliando fósforo microbiano do solo sob SPD em resposta a adição de fosfato solúvel, concluíram que a aplicação de P solúvel em superfície aumentou o conteúdo de P microbiano e que a imobilização do P pela biomassa microbiana é temporária, diminuindo ao longo do desenvolvimento da cultura. Ainda assim, a aplicação de fosfato no SPD, quando em condições de deficiência de P, deve ser feita no sulco de plantio e no momento da semeadura.

Em razão das características intrínsecas e extrínsecas, cada tipo de solo pode atuar como fonte ou dreno de P, sendo solo fonte aquele em que a soma do P-solo e P-fertilizante é favorável para utilização pelas plantas, e o solo dreno aquele em que há competição entre o solo e a planta pelo P-fertilizante adicionado. Em muitos casos, o dreno-solo é maior que o dreno-planta (Novais & Smyth, 1999).

## 2.3 FÓSFORO NA PLANTA

O P é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, ou seja, caso um elemento esteja indisponível para a planta, esta não se desenvolverá por completo e conseqüentemente não fechará seu ciclo reprodutivo. O fósforo é um componente que integra importantes compostos das células vegetais. Incluem-se nesses, intermediários de açúcar fosfato, fosfolipídios que formam as membranas celulares das plantas além de ser componente de nucleotídeos utilizados em seu metabolismo energético (Taiz & Zeiger, 2004).

Em plantas bem supridas em P, o vacúolo funciona como estoque de  $P_i$ , podendo conter até 95% do P total da célula (Marschner, 2012). As sementes também podem armazenar P, onde o P é armazenado como fitato (Lott et al., 2000) e polifosfatos inorgânicos (Seufferheld & Curzi, 2010). O fitato pode ser responsável por estocar aproximadamente 50% do P total em sementes de legumes e 60-70% em cereais (Marschner, 2012; Johnston, 2000). Giacomini et al. (2003), avaliando a liberação de P de resíduos de culturas de cobertura, observaram que menos de 40% do P permaneceu nos resíduos da ervilhaca nos primeiros 29 dias, sendo justificado pelo fato de que a rápida liberação do P no período inicial da decomposição está ligada a perda do P solúvel em água, possivelmente correspondendo aos estoques armazenados nos vacúolos.

Os sintomas de deficiência de fósforo nas plantas geralmente estão associados ao crescimento atrofiado em plantas jovens, coloração verde escuro e, em alguns casos, arroxamento das folhas, que podem ser malformadas e conter manchas necróticas, além de retardar a maturação dos frutos (Taiz & Zeiger, 2004). Por ser um elemento de alta mobilidade dentro da planta, ao contrário do que ocorre no solo, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas partes inferiores das plantas, nos órgãos mais velhos.

Devido ao fato do P estar ligado aos inúmeros processos e componentes da planta, algumas plantas são muito responsivas quando há maior disponibilidade deste elemento, como observado por Batistella Filho et al. (2013) na produtividade na cultura da soja quando adubadas com diferentes doses de P. Embora as plantas de modo geral respondam as aplicações de P, algumas espécies podem ser mais responsivas e eficientes em sua absorção que outras. Foloni et al. (2008), avaliando a capacidade extratora de P pelas culturas sob diferentes doses de fosfato natural pouco solúvel, observaram que o milho, ao contrário da soja, respondeu positivamente aos aumentos de dose de P e que os capins apresentaram maior eficiência na absorção de P.

Em virtude dos solos tropicais terem como característica a baixa disponibilidade de P, somada ao seu forte caráter drenado, as plantas tiveram que fazer ajustes para utilizar os teores de P que estão a sua disposição (Novais & Smyth, 1999). Isso foi observado por Muniz et al. (1985), Novais et al. (1993) e Fabres et al. (1987). Várias culturas quando plantadas em diferentes tipos de solos apresentam nível crítico de P diferente para alcançar o crescimento máximo. Isso mostra a importância do bom conhecimento tanto do solo como da cultura em que se está trabalhando.

Além dos seus mecanismos de adaptação e ajustes que permitem às plantas usar de forma mais eficiente o que lhes é oferecido, as plantas também tem a capacidade de associar-se a outros organismos que as podem ajudar no alcance e absorção, principalmente de elementos pouco móveis no solo como o P. A associação de micorrizas arbusculares com raízes de plantas facilita a absorção de fósforo, podendo os fungos transportar fósforo a uma taxa superior a quatro vezes maior do que a de uma raiz não associada com micorrizas (Taiz & Zeiger, 2004). Souza et al. (2004) e Rodrigues et al. (2003) concluíram que a inoculação com fungos ectomicorrízicos, “aumentam” o comprimento radicular, absorção de fósforo e produção de matéria seca em eucalipto e que a eficiência tende a ser maior nas menores doses de P aplicado. Para algumas espécies de plantas com sistema radicular bem rudimentar e pouco difuso no solo, como a mandioca, essa associação promove um “falso” aumento do sistema radicular da planta e a permite explorar áreas maiores e interceptar elementos em baixa concentração no solo e pouco difusos (Howeler et al., 1987; Sieverding, 1991).

## **2.4 CAMA DE AVIÁRIO**

O Brasil é um dos países que tem as maiores produções agropecuárias do mundo, gerando uma grande quantidade de resíduos. No ranking mundial de produção e exportação de carne de frango, o Brasil ocupa a 3º e a 1ª posição, respectivamente (UBABEF, 2013).

Atualmente o alojamento de matrizes de corte no Brasil é superior a 50 milhões de unidades gerando mais de 6 bilhões de pintainhos de corte e postura permitindo uma produção de 14.058.000 toneladas de carne de frango no ano de 2013 (AVISITE 2013; UBABEF, 2013). O estado do Paraná vem se destacando nos últimos anos como o maior produtor de carne de frango do Brasil, responsável por mais de 30% dos abates no ano de 2012 (UBABEF, 2013).

Toda esta cadeia produtiva de aves gera uma produção de cama de aviário de aproximadamente 8 milhões de toneladas por ano (Benites et al., 2010). Segundo Konzen (2003), a criação de frango de corte produz em média quatro toneladas de cama por ano para cada 1.000 aves. Com projeção de crescimento de 46,4% para os próximos 10 anos (MAPA, 2013), a produção de frango no Brasil tem um grande potencial para aumentar sua produção de resíduos.

A cama de aviário era muito utilizada na alimentação animal, principalmente de ruminantes, por apresentar bons teores nutritivos e baixos custos. Porém, com o risco da propagação do mal da vaca louca, no início dos anos 2000, há aproximadamente 10 anos está proibido o uso da cama de aviário na alimentação animal, segundo a Instrução Normativa 8/2004 (MAPA, 2004). Após este fato, a destinação da cama de aviário foi quase que totalmente direcionada para a adubação de culturas, principalmente hortaliças e culturas perenes como o café.

A forma de aplicação e as concentrações variáveis dos nutrientes, quando comparado aos minerais, são obstáculos para o uso de cama de aviário na adubação de grandes culturas, pois obriga o uso de volumes muito grandes. Porém, o processo de granulação, a peletização da cama e a produção de organominerais vêm minimizando estas dificuldades. Segundo Konzen & Alvarenga (2007), a composição média das camas de aviário é de 24 a 40, 20 a 35, e 18 a 35 kg m<sup>-3</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Seus altos teores de macronutrientes é uma das vantagens que a cama de aviário tem perante outras fontes orgânicas. O índice de eficiência dos nutrientes da cama de aviário no solo no primeiro cultivo é 0,5; 0,8 e 1,0 para N, P e K, respectivamente (SBCS, 2004).

Avaliando a taxa de decomposição e liberação de nutrientes da cama de aviário, Pitta et al. (2012) concluíram que após 150 e 365 dias aplicado, 51% e 82% do P tornam-se disponíveis no solo respectivamente; e que o efeito residual e liberação de nutrientes oriundos da decomposição da cama de aviário dura mais de um ano. De 25 a 45% da cama de aviário decompõe dentro dos primeiros 30-35 dias de incubação (Bratti, 2013; Adami, 2012; Gale & Gilmour, 1986 e Castellanos & Pratt 1981). Entretanto, pode haver grande variação dos teores de nutriente entre as camas de aviário, como verificado por Souza et al. (2012), que chegaram a um valor de 43 dias de incubação para mineralização do P da cama de aviário, sendo de 82% para maravalha e somente 4% para capim. Ávila et al. (2007), Roppa et al. (2012), Santos (1997) e Fukayama (2008) verificaram que os teores de P e K da cama de aviário aumentam com a

elevação dos números de lotes de ocupação, mostrando que as camas podem ter teores variados de nutrientes.

Essa decomposição relativamente rápida da cama de aviário deve-se a sua composição de aminoácidos, açúcares e proteínas, este processo tende a desacelerar devido à permanência de lignina e celulose que são compostos mais recalcitrantes, as quais os micro-organismos levam mais tempo para quebrar suas estruturas (Giacomini et al., 2003; Heal et al., 1997; Lupwayi et al., 2007). Isso resulta em uma liberação gradual dos nutrientes que compõe a cama de aviário. Edwards & Daniel, (1992), verificaram que grande parte dos nutrientes da cama de aviário encontra-se na forma de compostos orgânicos e necessitam ser mineralizados para se tornarem disponíveis às plantas. Assim, grande parte do P e N não é imediatamente disponível para as plantas. Entretanto, os teores e características da cama de aviário podem ser diferentes em função da sua origem (Bratti, 2013).

Em ensaio de longa duração, Mitchell & Tu (2006) observaram que a concentração de P no solo aumentou com aplicações contínuas de cama de aviário, com aumentos de 18 - 64 e 25 - 125 mg kg<sup>-1</sup> de P em 3 e 10 anos de aplicação, respectivamente. No mesmo trabalho, verificaram aumento da concentração de P, K, N, Cu, Zn e B nas camadas superiores do solo, indicando um conjunto substancial de nutrientes residuais. Dou et al. (2009) obtiveram resultados semelhantes, obtendo graus de saturação por P na faixa de 80 - 90% para solos adubados com resíduos animais em comparação com 11 a 33% em solos não tratados, foram ainda verificados aumentos do potencial de liberação de P nos solos tratados.

Além dos atributos químicos que a cama de aviário oferece, sua utilização promove outros efeitos benéficos ao solo e suas propriedades, conseqüentemente, oferecem benefícios às plantas também, muitas delas em virtude da MO e do carbono orgânico (CO) adicionada ao solo (Adeli et al., 2008; Singh et al., 2009). Dentre elas está a redução da densidade do solo, estruturação do solo, aumento da porosidade, capacidade de retenção de água (Kingery et al., 1994; Kiehl, 2010), aumento da CTC, pH (Zhang, 1998) e superfície específica.

Embora não seja uma constante nos resultados de trabalhos científicos, alguns pesquisadores relatam viabilidade econômica e agrônômica no uso da cama de aviário em substituição à adubação mineral na cultura da soja (Carvalho et al., 2011). Todavia, sua utilização promove incrementos de produtividade em várias culturas (Wood et al., 1996; Adeli et al., 2005; Mitchell & Tu, 2005; Sistani et al., 2004; Portugal et al. 2009).

## 2.5 ADUDOS FOSFATADOS

A maior parte do fosfato utilizado na adubação de culturas é oriunda de rochas fosfáticas, como apatitas e fosforitas, que são fontes não renováveis. Embora as estimativas não sejam muito precisas devido à falta de informação por parte dos produtores de fosfato que consideram este assunto confidencial (Fixen, 2009), algumas delas mostram que as *reservas*<sup>1</sup> e *bases de reserva*<sup>2</sup> mundiais de fósforo apresentam longevidade de 93 e 291 anos, respectivamente (USGS, 2009).

Os fertilizantes minerais fosfatados mais utilizados na agricultura são: fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP), Superfosfato Simples (SS), Superfosfato Triplo (ST), termofosfatos, fosfato natural, fosfato parcialmente acidulado e ácido fosfórico (Malavolta et al., 2002), sendo que o MAP, DAP, ST e SS possuem maior solubilidade e são mais utilizados na agricultura.

Devido ao alto poder que os solos tropicais têm em fixar P, deixando este indisponível às plantas (Novais & Smyth, 1999), além de serem grandes as opções de fertilizantes fosfatos de alta, média e baixa solubilidade, torna-se importante, então, o desenvolvimento e o aprimoramento de métodos de manejo do solo e da adubação fosfatada visando aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados no solo e seu fornecimento de P às plantas.

Resende et al. (2006), comparando eficiência agrônômica e econômica de fontes e modos de aplicação de P no cerrado, concluíram que ao longo de três anos as fontes menos solúveis de P foram se mostrando mais compensatórias e, dependendo do modo de aplicação, são muito promissoras por apresentarem preço mais baixo e eficiência agrônômica semelhante aos fosfatos solúveis a longo prazo. Em trabalho semelhante, Oliveira Junior et al. (2011) observaram que a aplicação conjunta de fontes de P (fosfato de rocha Arad e ST) parece ser uma opção viável, devido ao efeito residual da rocha fosfato que permanece no solo por pelo menos dois anos de cultivo. Embora essas práticas visem o melhor aproveitamento e uso mais eficiente de

---

<sup>1</sup>Parte da base de reserva que pode ser economicamente extraída ou produzida no momento da avaliação (Fixen, 2009).

<sup>2</sup>Recursos que são atualmente econômicos (reservas), marginalmente econômicos e subeconômicos (Fixen, 2009).

cada fertilizante, todos estes são oriundo de reservas minerais, não resultando em uma utilização sustentável de recursos.

O fato das reservas mundiais de fertilizantes, principalmente P e K, serem limitadas tem feito com que o uso de fertilizantes orgânicos seja uma alternativa para complementação e, em alguns casos, substituição aos fertilizantes minerais. A lenta liberação do P mineral pela decomposição da MO fornece de forma contínua suprimento com um mínimo de exposição aos mecanismos de adsorção (Kiehl, 2010). Dessa forma, esse comportamento de liberação gradual de nutrientes assemelha-se, de certa forma, com a liberação que ocorre nos fosfatos naturais, muito embora não se encontrem trabalhos que retratem uma correlação. Bulegon et al., 2012 chegaram à conclusão de que a substituição de parte da adubação nitrogenada mineral em cobertura pela cama de aviário aplicada na cultura antecessora pode reduzir custos, com aumento de produtividade e renda líquida na cultura do milho.

Dentre os fertilizantes orgânicos utilizados na agricultura, os resíduos orgânicos oriundos dos aviários, chamada cama de aviário, tem se destacado por ser uma das mais utilizadas. Isto se deve ao fato dos esterco de galinhas serem considerados mais ricos em nutrientes que outros esterco, podendo ser de duas a três vezes mais concentrado em nutrientes (Kiehl, 2010). Souza et al. (2012), avaliando as formas e transformações de P de camas de aviário com diferentes tipos de materiais de forração (casca de café, casca de arroz, maravalha, sabugo de milho triturado e capim-napier triturado), concluíram que o ortofosfato inorgânico é a espécie predominante encontrada na fração solúvel em água da cama de aviário. O material que compõe a cama de aviário influencia no processo de mineralização e mesmo sem estar em contato com o solo a cama de aviário tem altas taxas de mineralização do Po.

Em vista destes fatores que circundam as fontes de fornecimento de P, os fertilizantes organominerais tornam-se uma ferramenta passível de ser usada. Por oferecerem características tanto de fertilizantes minerais quanto de orgânicos, estes fertilizantes têm como vantagens o fornecimento rápido de nutrientes por meio de fertilizantes minerais solúveis e o fornecimento menor, porém contínuo oriundo de uma fonte renovável de nutrientes que é a base orgânica, principalmente quando se trata de excrementos animais. As principais fontes de matéria prima para a fabricação de organominerais são: turfa, linhito, esterco e cama de animais e lixo domiciliar (Kiehl, 1993). A combinação do fertilizante orgânico com o mineral resulta no fertilizante organomineral (Kiehl, 1993). Pela legislação instrução normativa nº 25 de 23 de Julho

de 2009 (IN 25/2009), os fertilizantes organominerais podem conter, no máximo, 25% de umidade e teor mínimo da soma  $N + P_2O_5 + K_2O$  deve ser 10%, e a de CO 8 % (MAPA, 2009).

Porém, além de variadas fontes de P, sejam elas minerais ou orgânicas, o modo de utilização, preparo e aplicação tornam-se importantes ferramentas para que qualquer forma de fertilizante seja realmente efetiva em sua disponibilização de P para as plantas. Por ter característica de baixa mobilidade no solo, a localização de aplicação de fertilizantes fosfatados é fundamental para que a planta consiga absorver o P disponibilizado.

## 2.6 REFERÊNCIA

ADAMI, P.F. Intensidade de pastejo e níveis de cama de aviário em sistema de integração lavoura-pecuária. Tese Doutorado, 111 f. Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR, 2012.

ADELI, A.; SISTANI, K. R.; ROWE, D. E.; Effects of Broiler Litter on Soybean Production and Soil Nitrogen and Phosphorus Concentrations. *Agronomy Journal*, v.97, p.314–321, 2005.

ADELI, A.; SHANKLE, M.W.; TEWOLDE, H.; Nutrient Dynamics from Broiler Litter Applied to No-Till Cotton in an Upland Soil. *Agronomy Journal*, v.100, p.564-570, 2008.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J. & BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfato em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.985-1002, 2003.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. LF.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. eds, *Fertilidade do Solo*. 1017p. SBCS, Viçosa, 2007.

AVILA, V. S DE.; ABREU, V. M. N.; DE FIGUEIREDO, É. A. P.; DE BRUM, P. A. R.; DE OLIVEIRA, U. Valor agrônômico da cama de aviários após reutilização por vários lotes consecutivos. Comunicado Técnico 466. EMBRAPA, Concórdia , SC. 2007

AVISITE. Estatísticas e preços. Acessado em 24/11/2013. Disponível em: <<http://www.avisite.com.br/economia/>>

BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York: Willey Interscience, 1984.

BATISTELLA FILHO, FELIPE.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; CRUZ, M. C. P. DA; CENTURION, M. A. P. DA C.; SYLVESTRE, T. DE B.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.48, n.7, p.783-790, jul. 2013.

BENITES V. DE M.; CORREA J. C.; MENEZES J. F. S.; POLIDORO J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, Brasil, setembro de 2010.

BONSER, A. M.; LYCH, J. P.; SIEGLINDE, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. *New Phytologist*, v.132, p.281-288, 1996.

BRADY, N. C. & WEIL, R. R. Elemento da natureza e propriedades dos solos. 3 ed. 716 p. Bookman LTDA, 2012.

BRATTI, F. C. Uso da cama de aviário como fertilizante orgânico na produção de aveia preta e milho. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Zootecnia. Universidade Tecnológica Federal do Paran. Dois Vizinhos, 2013.

BULEGON, L. G.; CASTAGNARA, D. D.; ZOZ, T; DE OLIVEIRA, P. S. R.; DE SOUZA, F. H. Análise econômica na cultura do milho utilizando adubação orgânica em substituição à mineral. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, vol. 16, núm. 2, pp. 81-91 Universidade Anhanguera, Campo Grande, Brasil, 2012.

CARVALHO, R. C.; REZENDE, P. M.; ANDRADE, M. J. B.; PASSOS, A. M. A.; OLIVEIRA, J. A. Fertilizantes mineral e resíduo orgânico sobre características agrônômicas da soja e nutrientes no solo. *Rev. Ciênc. Agron.* v. 42, n.4, Fortaleza, 2011

CASTELLANOS, J.Z. & PRATT, P.F. Mineralization of manure nitrogen – Correlation with laboratory indexes. *Soil. Science. Sociology American Journal*, v.45, p.354 - 357, 1981.

CESSA, R. M. A.; VITORINO, A. C. T.; CELI, L.; NOVELINO, J. O. & BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1535-1542, 2010.

CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.893-900, 2003.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M. E ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dez. 2004.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O. SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 229-235, 2009.

DECHEN A.R. & NACHTIGALL G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS N.F.; FONTES R.L.F.; CANTARUTTI R.B.; NEVES J.C.L. (eds). *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS/UFV. p. 92-132, 2007.

DOU, Z.; RAMBERG, C. F.; TOTH, J. D.; WANG, Y.; SHARPLEY, A. N.; BOYD, S. E.; CHEN, C. R.; WILLIAMS, D.; XU, Z. H. Phosphorus speciation and sorption-desorption characteristics in heavily manured soil. *Soil Science Society of America Journal*. v. 73, n. 1, 2009.

EDWARDS, D.R. & DANIEL, T.C. Environmental impacts of farm poultry waste disposal – A review. *Biores. Technology*, v.41, p.9-33, 1992.

FABRES, A.S.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. & CORDEIRO, A.T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, p. 51-57, 1987.

FASSBENDER, H. W. Química de suelos: com enfasis em suelos de America Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 422p. San José, 1994.

FIXEN, P. E. Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. *Informações agrônômicas*, nº 126. IPNI, Junho/2009.

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

FUKAYAMA, E. H. Características quantitativas e qualitativas da cama de aviário sob diferentes reutilizações: Efeito na produção de biogás e biofertilizante. Tese de doutorado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

GALE, P.M. & GILMOUR, J.T. Carbon and nitrogen mineralization kinetics for poultry litter. *J. Environ. Qual.*, v. 15, p. 423-426, 1986.

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

GEBRIM, F. DE O.; NOVAIS, R. F.; DA SILVA, I. R.; SCHULTHAIS, F.; VERGÜTZ, L.; PROCÓPIO, L. C.; MOREIRA, F. F.; DE JESUS, G. L. Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34; p.1195-1205, 2010.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E. E.; AMARAL, E. B. DO. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. *Pesq. agropec. bras. Brasília*, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J.; BORTOLON, L. & GONÇALVES, D. R. N. Relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1633-1639, 2011.

HEAL, O. W., J. M. ANDERSON, & M. J. SWIFT. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. CAB International, Oxon, 1997.

HERNÁNDEZ, J. & MEURER, E.J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:223-230, 1998.

HOWELER, R. H., SIEVERDING, E. AND SAIF, S. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant Soil* v. 100, p. 249–283, 1987.

JOHNSTON, A. E., Soil and Plant Phosphate. International Fertilizer Industry Association, Paris, 2000.

KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C. & KAMPRATH, E. J. The role of phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, p. 471-514, Madison, 1980.

KIEHL, E. J. Fertilizantes Organominerais 189p. Piracicaba, 1993

KIEHL, E. J. Novo Fertilizantes Orgânicos. 248p. Piracicaba, 2010.

KINGERY, W.L.; WOOD, C.W.; DELANEY, D.P.; et al. Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties. *Journal Environmental Quality*, v.23, p.139-147, 1994.

KONZEN E. A. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. V Seminário Técnico da Cultura do Milho. Videira, 2003.

KONZEN, E. A., ALVARENGA, R. C. Cultura do milho. Fertilidade de solos. Adubação orgânica. In: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. V Seminário técnico da cultura de milho. Videira, 2007.

LEITE, P. B.; V, V. H. A.; BARROS, N. F. DE; NEVES, J. C. L. & M, A. G. Níveis críticos de fósforo, para milho, em casa de vegetação, de acordo com a sua localização no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.497-508, 2006.

LOTT, J. N. A.; OCKENDEN, I.; RABOY, V.; & BATTEN, G. D. Phytic acid and phosphorus in crop seeds and fruits: a global estimate. *Seed Sci Res* v. 10, p. 11–33, 2000.

LUPWAYI, N.Z.; CLAYTON, G.W.; O'DONOVAN, J.T.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K. & SOON, Y.K. Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Res. Soil Till.*, v. 95, p. 231-239, 2007.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. Fertilizantes e adubação. Reimpressão em 2011, São Paulo, NOBEL, 2002.

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

MAPA. Instrução normativa SDA 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. Diário Oficial da União Seção 1, Página 20, de 28/07/2009.

MAPA. Projeções do agronegócio: Brasil 2012/2013 A 2022/2023. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão estratégica 96p. Brasília: MAPA/ACS, 2013.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3ed. London, Academic Press, 643p.2012.

MARTINAZZO, R.; SANTOS, D. R. DOS; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. & KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.563-570, 2007.

MITCHELL, C. C.; TU, S. Long-Term Evaluation of Poultry Litter as a Source of Nitrogen for Cotton and Corn. *Agronomy Journal*, v.97, p.399-407, 2005.

MITCHELL, C. C.; TU, S. Nutrient accumulation and movement from poultry litter. *Soil Science Society of America Journal*. v.70, p.2146–2153, Madison, WI, 2006.

MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. & NEVES, J. C. L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1985.

NOLLA, A. & ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em Latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 30, p.955-963, 2006.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CASALI, V. W. D. & FABRES, A. S. The influence of the soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of

different vegetables. In: FRAGOSO, M. A. C. & BEUSICHEM, M. L. V., eds. Optimization of plant nutrition. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1993.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. DE; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean Yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.68, n.3, p.376-385, May/June 2011.

OLSEN, S.R., & F.E. KHASAWNEH. Use and limitations physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. p. 361-410. In F.E. Kasawneh, E.N.C. Samples, a E.J. Kamprath (ed.) *The role of phosphorus in agriculture*. S Sci. Soc. Am., Madison, WI. 1980.

PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.*, v.30, p. 1-50, 1978.

PARFITT, R. L.; ATKINSON, R. J. & SMART, R. S. T. C. The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am.* v. 39, p. 837-841, 1975.

PITTA, C. S. R.; ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C.; SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 36, n. 3, p. 1043-1053. 2012.

PORTUGAL, A.; RIBEIRO, D. O.; CARBALLAL, M. R.; VILELA, L. A. F.; ARAÚJO, E. J.; GONTIJO, M. F. D. Efeitos da utilização de diferentes doses de cama de aviário por dois anos consecutivos na condição química do solo e obtenção de matéria seca em *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 1., 2009, Florianópolis. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.; ÁVILA, F. W. DE & SAMPAIO, R. A. Utilização de fósforo e produção do feijoeiro: influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p.89-96, 2010.

RAUSCH, C.; AND BUCHER, M. Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. v. 216, p. 23-37, 2002.

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

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.2, p.178-184, 2005.

RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A. & SALOMÃO, M. S. M. B. Uso de micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de eucalipto e sesbania. II – Absorção e eficiência de utilização de fósforo e frações fosfatadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.593-599, 2003.

ROPPA, A.; DA ROSA, G. M.; GABRIEL, M.; WASTOWSKI, A. D.; DA SILVA, J. C.; ZENI, C. Análise dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio em camas de aviário para adubação orgânica. Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais. Universidade Federal de Santa Maria-RS, 2012.

ROSOLEM, C. A. & TAVARES, C. A. Sintomas de deficiência tardia de fósforo em soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.385-389, 2006.

SANTOS, T. M. B. dos. Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte. 95 f. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

SATO, S. & COMERFORD, N. B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid Brazilian. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.685-694, 2005.

SBCS – Núcleo Regional Sul. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. 10. Ed. 400p. Porto Alegre, 2004.

SENTENAC, H. & GRINGNON, C. Effect of pH on orthophosphate uptake by corn roots. *Plant Physiology*, v. 77, p 136-141. 1985.

SEUFFERHELD, M.J.; CURZI, M. J. Recent Discoveries on the roles of Polyphosphates in Plants. *Plant mol. Biol. Rep.*, v. 28 p. 549-559, 2010.

SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Verlagsgesellschaft Rossdorf mbH für Technical Cooperation, 371p. 1991.

SINGH, Y.; GUPTA, R.K.; THIND, H.S.; Poultry litter as a nitrogen and phosphorus source for the rice–wheat cropping system. *Biology Fertilization Soils*, v.45, p.701-710, 2009.

SISTANI, K. R., BRINK, G. E.; ADELI, A.; et al. Year-Round Soil Nutrient Dynamics from Broiler Litter Application to Three Bermudagrass Cultivars. *Agronomy Journal*, v.96, p.525-530, 2004.

SOUZA, C. R. DE; GHOSH, A. K.; DA SILVA, I. R.; DE ALVARENGA, E. S.; NOVAIS, R. F.; DE JESUS, G. L. Phosphorus transformation in poultry litter and litter-treated oxisol of Brazil assessed by <sup>31</sup>P-NMR and wet chemical fractionation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36; p.1516-1527, 2012.

SOUZA, L. A. B. DE; SILVA FILHO, G. N. & OLIVEIRA, V. L. DE. Eficiência de fungos ectomicorrízicos na absorção de fósforo e na promoção do crescimento de eucalipto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.4, p.349-355, abr. 2004.

SPOSITO, G. *The surface chemistry of soil*. 234 p. Oxford University, New York, 1984.

STEVENSON, F.J. & COLE, M.A. *Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1999.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. Trad. Eliane R. Santarém et al., 3 ed., Porto Alegre, Artmed, 719p.2004.

UBABEF. Relatório anual 2013. União Brasileira de Avicultura. Disponível em: <<http://www.ubabef.com.br/publicacoes>>.

USGS. United States Geological Survey. Phosphate rock. Mineral commodity summaries. Reston, 2009. Disponível em: <<http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>>.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Phosphate sorption in low activity clay soils. *Bragantia*, 62:111-118, 2003.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol* v. 57, p. 423–447, 2003.

VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ANGHINONI, I.; ERNANI, P. R. & MORAES, R. P. DE. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.188-198. 2012.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S. DA; HOEPERS, A.; & SOUZA JUNIOR, I. G. DE. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1059-1068, 2010.

WOOD, B. H.; WOOD, C. W.; YOOQ, K. H.; et al. Nutrient accumulation and Nitrate leaching under broiler litter amended corn fields. *Communication Soil Science and Plant Analysis*. v.27, p.2875–2894, 1996.

ZHANG, H. Animal Manure Can Raise Soil pH. Production technology, Department of Plant and Soil Sciences. v.10. no 7, 1998.

## CAPÍTULO III

# CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS E MINERAL FOSFATADOS SÓLIDOS

### 3.1 RESUMO

A alta demanda da agricultura por fertilizantes e o alarmismo criado pelos produtores de fertilizantes fosfatados em relação à possibilidade da escassez de fertilizantes fosfatados em relativo curto espaço de tempo (90 anos) tem forçado a busca por novas fontes de nutrientes para as plantas. Porém, testar potenciais fontes de nutrientes somente com dados de produtividade pode deixar oculto importantes esclarecimentos pelo fato de não se conhecer melhor o material estudado. Este capítulo teve como objetivo a caracterização e comparação de formulados NPK, um 5-20-2 organomineral granulado (OG), um 3-15-2 organomineral mistura de grânulos (OM) e um 3-15-2 mineral mistura de grânulos (MM) por meio de análises químicas e físicas. Foram realizadas as análises granulométrica, de umidade a 65°C (U65), pH, Carbono orgânico (CO), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total (P<sub>TOT</sub>), solúvel em água (P<sub>ÁGUA</sub>), solúvel em CNA + água (P<sub>CNA+ÁGUA</sub>) e solúvel em ácido cítrico 2% (P<sub>AC</sub>), N, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn e de infravermelho (FTIR). Os três fertilizantes analisados não se encontram de acordo com a Instrução Normativa (IN) 25/2009 e IN 05/2007, as quais estabelecem normas sobre as especificações e garantias físicas e químicas necessárias e obrigatórias dos fertilizantes. O P<sub>ÁGUA</sub> dos três fertilizantes apresentou valores muito semelhantes, embora o P<sub>CNA+ÁGUA</sub> entre eles tenha se mostrado diferente. As quantidades de carbono orgânico de 41,4 e 43,5% presentes no OG e OM, respectivamente, foram muito semelhantes, embora os fertilizantes não sejam provenientes do mesmo fornecedor. A semelhança entre OG e OM com relação aos ácidos húmicos e fúlvicos também foi observada. Por meio da análise de FTIR, pode-se observar a presença de compostos orgânicos alifáticos, proteicos, lipídicos, embora estes não tenham sido quantificados. Deve-se dar continuidade à caracterização dos fertilizantes e, principalmente, de

seus compostos orgânicos, uma vez que esses dados podem auxiliar no melhor entendimento da resposta do solo e das plantas à adição desses fertilizantes.

**Palavras-chave:** Cama de aviário. FTIR. Análises de fertilizantes.

## 3.2 ABSTRACT

### **Physical and chemical characterization of solid organominerals and mineral phosphate fertilizers**

The high demand for agricultural fertilizers and the alarmism created by the producers of phosphate fertilizers on the possibility of shortage of these fertilizers in relatively short period of time (90 years) has forced the search for new sources of plant nutrients. However, testing potential sources of nutrients only with productivity data can leave hidden important clarifications by the fact of the incomplete understanding of the material. This chapter aimed to the characterization and comparison of 3 NPK formulated fertilizers, a 5-20-2 granulated organomineral (OG), a 3-15-2 mixture of granules organomineral (OM) and a 3-15-2 mixture of granules mineral (MM) by means of chemical and physical analyzes. There were performed the particle size analyzes were, humidity at 65°C (U65), pH, organic carbon (CO), humic acid (AH), fulvic acid (AF), total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content (P<sub>TOT</sub>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble in water (P<sub>ÁGUA</sub>), soluble in CNA + water (P<sub>CNA + ÁGUA</sub>) and soluble in citric acid 2% (P<sub>AC</sub>), N, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The three analyzed fertilizers are not in accordance with Normative Instruction (IN) 05/2007 and 25/2009, which establish standards for the physical and chemical specifications and guarantees necessary and mandatory for fertilizers. The P<sub>ÁGUA</sub> of the three fertilizers showed very similar values, although the P<sub>CNA+ÁGUA</sub> among them have proved different. The amounts of organic carbon 41.4 and 43.5% present in the OG and OM, respectively, were very similar, although fertilizers are not from the same vendor. The similarity between OG and OM with respect to humic and fulvic acids was also observed. By means of FTIR analysis, the presence of organic aliphatic compounds, protein and lipid was

observed although these were not quantified. It should continue the characterization of fertilizers and especially of its organic compounds, since these data may help in the better understanding of soil and plant response to the addition of these fertilizers.

Keywords: Poultry Litter. FTIR. Fertilizer analysis.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, a agricultura brasileira passou por uma grande evolução, com a produtividade de soja e milho, por exemplo, aumentando de 2175 e 2356 kg ha<sup>-1</sup> para 3033 e 5146 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em projeções para o ano de 2015 (CONAB, 2015). Esse crescimento é uma resposta a todo o trabalho de melhoramento genético que oferecem atualmente variedades e híbridos muito mais produtivos. Atrelado a esse aumento no potencial produtivo está a necessidade em oferecer condições para que as plantas consigam expressá-lo. As variedades e cultivares se tornaram muito mais responsivas à adubação e, em virtude disso, a quantidade de fertilizantes que se utiliza praticamente triplicou nas últimas duas décadas (IPNI, 2014).

Na cultura do milho em sistema de plantio direto, a adubação é responsável pela maior parcela do custo de produção da safra e safrinha (SEAB, 2015), ocupando aproximadamente 20% do total. Fica, assim, evidente a importância da adubação para que se alcance altas produtividades.

De todo o fertilizante utilizado na agricultura brasileira, somente 26% é produzido em território nacional, todo o restante é importado da Rússia e da China. Como exemplo, 90% do potássio utilizado no Brasil é importado. Além disso, tem se especulado muito nos últimos anos que as reservas mundiais de fosfato e potássio estão se exaurindo, com projeções chegando a indicar menos de 100 anos até que as reservas acabem (Fixen, 2009).

Existem alternativas para que se possa otimizar o uso dos fertilizantes, sejam por meio de manejo cultural ou com uso de tecnologia, como fertilizantes de liberação controlada, ou ainda o uso de diferentes matérias primas como fonte de nutrientes. Dentre as opções apresentadas, a utilização de resíduos orgânicos como fertilizantes tem se mostrado uma possibilidade viável e

que, além do fornecimento de nutrientes, pode agregar outros benefícios para o solo, plantas e o ambiente de modo geral (Pires & Mattiazzo, 2008).

Muitos trabalhos relatam o uso de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes para as culturas, com respostas positivas em muitos dos casos, porém ainda não há um consenso sobre qual a melhor forma de se utilizar esse insumo. Entre os materiais mais utilizados estão dejetos animais, lodo de esgoto, lixo urbano, tortas vegetais, compostagem de folhas de árvores, entre outros (Kiehl, 2010). Entretanto, a substituição total dos fertilizantes minerais por fertilizantes orgânicos não é uma realidade, além de não ser totalmente viável em muitos dos casos, pois os materiais orgânicos possuem menor eficiência no fornecimento de nutrientes de forma imediata, ao contrário dos minerais. Isso ocorre porque alguns nutrientes que compõem esses materiais, como P e N, estão ligados ou fazem parte de compostos orgânicos, o que torna sua liberação muito mais lenta, por precisarem passar por processos de mineralização (Kiehl, 2010).

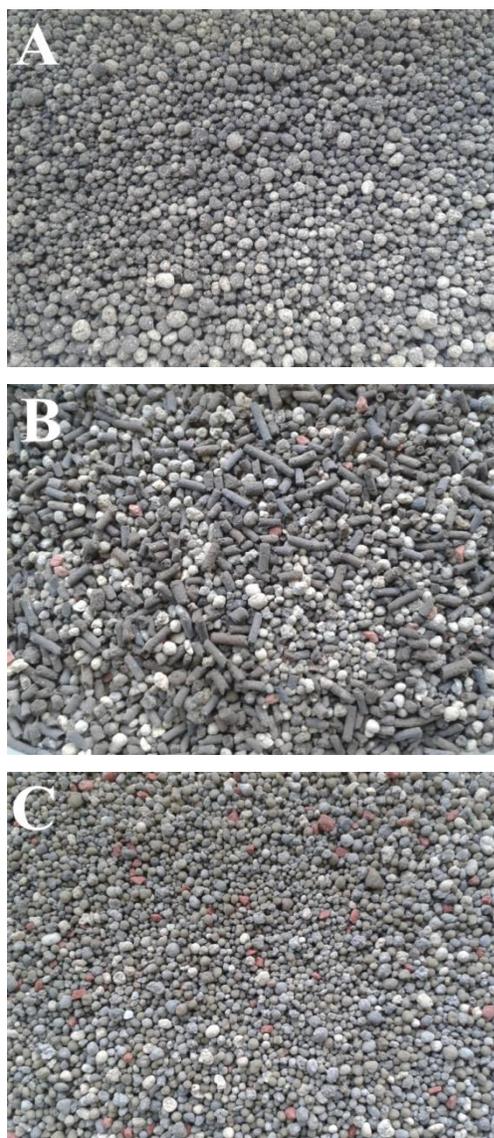
A solução para este entrave com relação aos resíduos orgânicos foi a associação destes com os fertilizantes minerais, aliando as vantagens de ambos os fertilizantes, o que acabou originando os fertilizantes organominerais (Kiehl, 1993). Dessa associação, são observados benefícios relacionados às reduções das perdas de N por volatilização, em virtude da aplicação do fertilizante no sulco, e à fixação de P (Benites et al., 2010).

Os organominerais, a cada dia mais, estão sendo estudados e utilizados na agricultura, com crescimento médio de 10% ao ano na última década (Benites et al., 2010). Entretanto, muitos desses benefícios e vantagens relatados são concluídos sem dados e resultados concretos. Desse modo, este capítulo tem por objetivo a caracterização e comparação de fertilizantes organominerais e mineral por meio de análises químicas e físicas de modo a coletar o maior número de dados e características de cada tipo de fertilizante.

### **3.4 MATERIAIS E MÉTODOS**

As análises para caracterização dos fertilizantes foram realizadas no laboratório de fertilizantes pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

Foram analisados três formulados NPK, sendo dois organominerais e um mineral. Os organominerais têm como base orgânica a cama de aviário, sendo um granulado (Figura 3.1 A) e o outro uma mistura de grânulos, contendo cama de aviário peletizada (Figura 3.1 B). Já o fertilizante mineral é uma mistura de grânulos (Figura 3.1 C). O fertilizante organomineral granulado (OG) analisado é um 5-20-2 fornecido pela Embrapa Solos – Rio Verde (GO). O organomineral mistura de grânulos (OM) e o mineral mistura de grânulos (MM) foram fornecidos pela empresa Minorgan e possuem a mesma formulação, ambos sendo um 3-15-2.



**Figura 3.1.** Visão geral dos fertilizantes: A) Organomineral granulado (OG), B) Organomineral mistura de grânulos (OM); e C) Mineral mistura de grânulos (MM).

Os fertilizantes minerais simples utilizados como matéria prima para formulação do OM e MM foram o Fosfato Monoamônico (MAP), como fonte de P, o cloreto de potássio (KCl), como fonte de potássio e como enchimento foi utilizado o produto Calcogran ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ). Para formulação do OG, foi utilizado somente MAP.

A preparação das amostras foi feita segundo Embrapa (2009). Estas foram homogeneizadas e reduzidas por quarteação manual, em seguida, com uma porção definida das amostras foi feita análise granulométrica e de umidade a  $65^\circ\text{C}$ . Após a análise de umidade e granulometria, essas amostras foram preparadas para as demais análises.

A umidade a  $65^\circ\text{C}$  dos fertilizantes organominerais foi calculada seguindo metodologia de Embrapa (2009). A massa inicial das amostras foi mensurada, essas foram levadas à estufa a  $65^\circ\text{C}$  até obter peso constante, foram pesadas novamente e realizaram-se os cálculos para obtenção dos valores. Com as mesmas amostras que foram feitas as análises de umidade, foi realizada a análise granulométrica utilizando as peneiras de 4,0 e 1,0 mm com o auxílio do tamizador segundo Embrapa (2009).

Para as demais análises, foram utilizadas as amostras moídas, peneiradas e armazenadas. As amostras dos fertilizantes foram moídas com auxílio de um almofariz de porcelana com pistilo, depois foram peneirados em peneiras com abertura de malha 0,5 mm (organominerais) e 0,15 mm (mineral) e armazenadas em frascos hermeticamente fechados.

No Laboratório de Espectroscopia, pertencente ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, foi realizada a análise de infravermelho dos materiais. As amostras moídas foram analisadas por meio de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), utilizando o equipamento Espectrômetro FTIR Bruker VERTEX 70. Aproximadamente 2,0 mg das amostras moídas dos fertilizantes mais 198,0 mg de KBr foram pesadas e levadas a um almofariz. Com o auxílio de um pistilo, esses materiais foram misturados e moídos até obter uma mistura fina e homogênea. Deste material, fabricaram-se pastilhas das quais foram obtidos seus espectros de 400 a  $4000\text{ cm}^{-1}$  com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  e 100 varreduras por espectro. Foram feitas correções de linha de base nos espectros, e normalização no número de onda  $543\text{ cm}^{-1}$  de todos os espectros para facilitar a comparação entre os três fertilizantes.

As análises de infravermelho são, geralmente, utilizadas para identificar grupos funcionais em substâncias húmicas, como ácidos carboxílicos, aminas, amidas, grupos alifáticos,

grupos hidroxilas (Martin-Neto et al., 1994; Guimarães, 1997). Corresponde a um tipo de espectrometria de absorção que usa a região infravermelho do espectro eletromagnético. As análises feitas por meio da espectroscopia de infravermelho são técnicas utilizadas para auxiliar na caracterização de compostos investigando sua composição. A técnica de Espectrometria de FTIR fornece informações sobre as principais classes de compostos químicos presentes na estrutura da matéria orgânica, tais como grupos contendo oxigênio, hidratos de carbono e proteínas, e também a identificação de impurezas minerais (Stevenson, 1994), podendo também ser utilizado para estimar o índice de aromaticidade (Rosa et al., Castilhos et al., Dick et al., 2008; Freixo et al., 2002; Potes et al., 2010). Embora muito utilizado para compostos orgânicos, o FTIR é também utilizado para análise de compostos inorgânicos, sendo utilizado em trabalhos como os publicados por Huang et al. (2014); Hassan et al. (2013) e Oliveira et al. (2009).

Foram realizadas as análises para os teores totais de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn e carbono orgânico dos fertilizantes.

Os teores totais de N dos fertilizantes foram obtidos pelo método da oxidação com ácido perclórico, para fertilizantes organominerais, e pelo micrométodo da liga de Raney, para fertilizantes minerais; e o S total foi determinado pelo método gravimétrico do peróxido de hidrogênio (Embrapa, 2009).

Para determinação dos teores totais de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn, inicialmente foi realizada uma digestão nítrico-perclórica dos fertilizantes em tubos de digestão acoplados ao bloco digestor para obtenção dos extratos. Foram pesadas 0,500 g da amostra moída de cada fertilizante e transferidos para os tubos, em seguida foram adicionados 8 mL da solução digestora nítrico-perclórica na proporção 4:1 (HNO<sub>3</sub> : HClO<sub>4</sub>). As amostras permaneceram em reação fria por uma noite e no dia seguinte foram levadas ao aquecimento no bloco digestor até completa digestão. Após a digestão, os extratos foram filtrados em papel filtro faixa branca, avolumados em balões de 250 mL e encaminhados para a determinação dos nutrientes.

Os teores totais de P e K foram determinados por meio do método colorimétrico do ácido molibdovanadofosfórico (Alcarde, 2009) e fotometria de chama de emissão (Embrapa, 2009), respectivamente. Os teores totais de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn foram analisados pelo método da Espectrofotometria de Absorção Atômica segundo Embrapa (2009) com a mistura de ar comprimido e acetileno. As leituras de Ca e Mg foram realizadas em um Espectrômetro de

Absorção Atômica GBC, modelo 932AA, e as leituras de Fe, Cu, Mn e Zn foram realizadas em um Espectrômetro de Absorção Atômica VARIAN, modelo AA240FS.

Além dos teores totais dos elementos, foram determinados os teores de  $P_2O_5$  solúvel em água ( $P_{ÁGUA}$ ), solúvel em citrato neutro de amônio + água ( $P_{CNA+ÁGUA}$ ) e solúvel em ácido cítrico 2% ( $P_{AC}$ ) segundo metodologia simplificada de Embrapa (1999). O pH dos fertilizantes organominerais e mineral foi medido pela metodologia do pH em  $CaCl_2$  0,01M e em água, respectivamente, segundo Embrapa (2009).

Foram realizadas também as análises da porção orgânica dos fertilizantes. A análise do teor de carbono orgânico foi realizada pela metodologia do dicromato de potássio e a análise dos teores dos ácidos húmicos e fúlvicos foi realizada por fracionamento das partes. Ambas as metodologias foram realizadas segundo Embrapa (2009).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As porcentagens da análise granulométrica e os valores de pH dos fertilizantes OG, OM e MM encontram-se na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Análise granulométrica e de fertilizantes organomineral granulado (OG), organomineral mistura de grânulos (OM) e mineral mistura de grânulos (MM).

	Granulometria (%) <sup>#</sup>						pH <sup>#</sup>	s
	>4mm	s	>1mm	s	<1mm	s		
<b>OG</b>	0,19	0,12	93,03	4,67	6,77	3,49	6,27	0,05
<b>OM</b>	4,88	0,13	94,04	0,29	1,08	0,14	5,07	0,02
<b>MM</b>	3,13	0,78	94,06	0,13	2,81	0,85	5,28	0,01

<sup>#</sup>análise realizada com amostras em triplicata; s: desvio padrão.

Na peneira de 4,0 mm, ficaram retidos 0,19; 4,88 e 3,13% dos fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente. Na peneira de 1,0 mm, ficaram retidos 93,03; 94,04 e 94,06% dos fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente. Esses valores representam o percentual que ficou retido somente na peneira de 1,0 mm, sem ser somado o percentual retido na peneira de 4,0 mm.

Passaram pela peneira de 1,0 mm 6,77; 1,08 e 2,81% dos fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente, representando a porcentagem dos grânulos menores que 1,0 mm.

Segundo a instrução normativa nº 25 de 23 de Julho de 2009 - IN 25/2009 (MAPA, 2009), para fertilizantes organominerais, e a instrução normativa nº 5 de 23 de Fevereiro de 2007 - IN 5/2007 (MAPA, 2007), para fertilizantes minerais, as especificações granulométricas para fertilizantes granulados e mistura de grânulos que devem ser atendidas são as seguintes: pelo menos 95% do fertilizante deve passar pela peneira de 4,0 mm e pelo menos 95% do fertilizante deve ficar retido na peneira de 1,0 mm. É aceita uma tolerância de até 5% sobre o percentual garantido retido na peneira de 1,0 mm e sobre o percentual garantido passante na peneira de 4,0 mm. Dessa forma, dentre os fertilizantes analisados, todos estão de acordo com a IN 25/2009 e 5/2007.

A granulometria influencia diretamente na qualidade de aplicação dos fertilizantes, pois quanto mais homogênea e mais uniforme será sua distribuição durante a aplicação. Nesse quesito o fertilizante OG pode apresentar vantagens diante os demais, pois independentemente do tamanho, cada grânulo contém todos os nutrientes garantidos. Já no caso dos OM e MM que são mistura de grânulos, mesmo que estejam de acordo com a granulometria exigida, o formato e densidade dos grânulos também podem influenciar no processo de segregação e desuniformidade durante as aplicações. Essas evidências foram observadas em trabalhos realizados por Popp & Ullrich (1985 a,b), Carvalho (1995) e Rodella & Alcarde (1994).

O OM e MM apresentaram porcentagem de grânulos maiores que 4,0 mm, aproximadamente 42 vezes maior que o OG, em média. Mais de 99% do OG está com granulometria menor que 4,0 mm, sendo que sua porcentagem média de grânulos menores que 1,0 mm é aproximadamente 3,48 vezes maior do que o OM e MM. Essa característica granulométrica um pouco menor pode trazer vantagens ao OG, uma vez que tende a ser mais rápida a dissolução e liberação de nutrientes quanto menor a granulometria dos fertilizantes.

Os valores de pH foram 6,27; 5,07 e 5,28 para os fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente. O OM e MM apresentaram valores de pH inferiores ao do OG. Ainda que a cama de aviário tenha como característica a elevação do pH (Ernani, 2003; Zhang et al., 1998) e fosse esperado que o pH do OM fosse maior que do MM, a similaridade entre ambos pode ser explicada pela capacidade tampão que a matéria orgânica, proveniente da cama de aviário, possui (Silva & Mendonça, 2007).

Na Tabela 3.2, estão apresentados os teores de ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), carbono orgânico (CO) e umidade a 65°C (U65) dos fertilizantes OG, OM e MM.

Os teores de CO dos fertilizantes OG, OM e MM foram 41,4; 43,5 e 2,7%, respectivamente. De acordo com a IN 25/2009, fertilizantes organominerais sólidos devem garantir no mínimo 8% de CO. Dessa forma, ambos os fertilizantes organominerais estão de acordo com a legislação, estando acima do mínimo obrigatório.

**Tabela 3.2.** Teores de ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), carbono orgânico (CO) e umidade a 65°C (U65) dos fertilizante organomineral granulado (OG), organomineral mistura de grânulos (OM) e mineral mistura de grânulos (MM).

	AH <sup>#</sup>		AF <sup>#</sup>		CO <sup>#</sup>		U65 <sup>#</sup>	
	(ppm)	s	(ppm)	s	(%)	s	(%)	s
<b>OG</b>	303,97	0,01	519,39	0,00	41,4	1,57	4,44	0,18
<b>OM</b>	203,45	0,01	505,02	0,01	43,5	3,94	4,75	0,11
<b>MM</b>	-	-	-	-	2,7	1,57	-	-

<sup>#</sup>análise realizada com amostras em triplicata; s: desvio padrão.

A umidade a 65°C máxima permitida nos fertilizantes organominerais, segundo a IN25/2009, é de 30%. Assim, ambos os fertilizantes organominerais OG e OM estão de acordo com a legislação, uma vez que suas U65 são de 4,44 e 4,75 %, respectivamente.

Para os teores de AH e AF, foram encontrados os valores de 303,97 e 519,39 ppm para o fertilizante OG e 203,45 e 505,02 ppm para o fertilizante OM, respectivamente.

Nota-se que, embora sejam produzidos em locais diferentes, o OG e OM apresentam teores de CO, AH e AF muito próximos, podendo isso ser atribuído à semelhança das características da base orgânica de ambos os fertilizantes, uma vez que tenham sido utilizadas quantidades parecidas de cama de aviário pelos dois fabricantes.

Na Tabela 3.3, estão apresentados os teores percentuais de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total (P<sub>TOT</sub>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água (P<sub>ÁGUA</sub>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em CNA + água (P<sub>CNA+ÁGUA</sub>) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico 2% (P<sub>AC</sub>) dos fertilizantes OG, OM e MM.

Os teores de P<sub>TOT</sub> para os fertilizantes OG, OM e MM foram 19,61; 15,92 e 15,87%, respectivamente. Para teores de P<sub>ÁGUA</sub> e P<sub>CNA+ÁGUA</sub>, os valores encontrados foram 12,94 e

18,43%; 11,27 e 12,63%; 12,64 e 13,07% para os fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente. E para  $P_{AC}$  os teores encontrados foram 15,19; 10,98 e 11,28% para os fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente.

**Tabela 3.3.** Teores de  $P_2O_5$  total ( $P_{TOT}$ ),  $P_2O_5$  solúvel em água ( $P_{ÁGUA}$ ),  $P_2O_5$  solúvel em CNA+ água ( $P_{CNA+ÁGUA}$ ) e  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico 2% ( $P_{AC}$ ) dos fertilizantes organomineral granulado (OG), organomineral mistura de grânulos (OM) e mineral mistura de grânulos (MM).

	$P_{TOT}^*$		$P_{ÁGUA}^{\#}$		$P_{CNA+ÁGUA}^{\#}$		$P_{AC}^{\#}$	
	(%)	s	(%)	s	(%)	s	(%)	s
<b>OG</b>	19,61	2,62	12,94	0,10	18,43	0,45	15,19	0,26
<b>OM</b>	15,92	0,64	11,27	0,19	12,63	0,44	10,98	0,07
<b>MM</b>	15,87	0,29	12,64	0,80	13,07	0,30	11,28	0,10

\*análise realizada com amostras em duplicata; <sup>#</sup>análise realizada com amostras em triplicata; s: desvio padrão.

Ao se observar os valores de  $P_{ÁGUA}$ , que representa a porcentagem de  $P_2O_5$  que está prontamente disponível quando em contato com a solução do solo, nota-se que a diferença entre os três fertilizantes foi muito pequena. Entretanto, a porcentagem do  $P_{TOT}$ , que é prontamente solubilizado quando em contato com a solução do solo, é de aproximadamente 66, 71 e 80% para OG, OM e MM, respectivamente. Essa diferença entre os fertilizantes também foi observada para  $P_{AC}$ , porém, o método do ácido cítrico 2% é mais utilizado para avaliar a solubilidade de fosfatos pouco solúveis como rochas fosfáticas (Alcarde & Prochnow, 2003).

Para  $P_{CNA+ÁGUA}$ , nota-se que a diferença entre os fertilizantes seguiu a diferença observada para  $P_{TOT}$ . Os teores de  $P_{CNA+ÁGUA}$  representam o P solúvel em água mais o P que está disponível em curto prazo e não solúveis em água (Quispe, 2004). Porém, esta extração possui alta capacidade em solubilizar fosfatos de Fe e Al. (Alcarde & Ponchio, 1979; Quispe, 2004). Segundo a IN 25/2009 e 5/2007, a garantia de P nos fertilizantes estudados deve ser dada em  $P_{CNA+ÁGUA}$ , com tolerância de 10% quando os teores indicados estão entre 5 e 40 %. Dessa forma, somente o OG encontra-se de acordo com a legislação, enquanto o OM e MM apresentaram teores de  $P_{CNA+ÁGUA}$  15,8 e 12,87% a menos dos 15% garantidos pelo fornecedor.

Os teores totais de N, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg e S dos fertilizantes OG, OM e MM estão apresentados na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4.** Análise química do fertilizante organomineral granulado (OG), organomineral mistura de grânulos (OM) e mineral mistura de grânulos (MM). Teores totais de N, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg e S.

	N <sup>#</sup>		K <sub>2</sub> O*		Ca <sup>#</sup>		Mg*		S*	
	(%)	s	(%)	s	(%)	s	(%)	s	(%)	s
<b>OG</b>	4,00	0,47	1,2	0	3,98	0,39	0,99	0,09	0,41	0,00
<b>OM</b>	3,37	0,01	2,8	0	6,83	0,08	4,42	0,18	0,82	0,00
<b>MM</b>	4,61	0,32	1,9	0	11,96	0,07	10,14	0,61	1,14	0,05

\*análise realizada com amostras em duplicata; <sup>#</sup> análise realizada com amostras em triplicata; s: desvio padrão.

Os teores totais de N encontrados foram 4,00; 3,37 e 4,61% para os fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente. O teor de N no OG apresentou-se 20% abaixo do garantido pelo fornecedor, estando acima dos 15% tolerados pela IN 25/2009. Para N no OM e MM, os teores encontrados foram superiores aos 3% garantidos, estando de acordo com a IN 25/2009 e 5/2007.

Os teores totais de K<sub>2</sub>O foram 1,2; 2,8 e 1,9% para os fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente. Além dos teores totais de K<sub>2</sub>O, para fins de garantia dos fertilizantes, há a necessidade dos teores de K<sub>2</sub>O solúvel em água, uma vez que a legislação exige que os fornecedores apresentem as garantias de K<sub>2</sub>O solúvel em água.

Segundo a IN 25/2009 e 5/2007, produtos primários produzidos e comercializados isoladamente (N, P e K) ou em misturas (NP, NK, PK, ou NPK) deverão ter no mínimo 10% (organominerais) e 21% (mineral) de sua composição composta pelos macronutrientes primários. Dessa forma, as garantias devem ser dadas pela soma dos teores de N total, K<sub>2</sub>O solúvel em água e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em ácido cítrico 2% ou CNA+água. Embora a análise de K<sub>2</sub>O solúvel em água não tenha sido feita, o somatório das porcentagens do N e P nos fertilizantes organominerais é maior do que 10%, estando, portanto, dentro da legislação. No caso do MM, o somatório NPK apresentou-se menor que os 21% exigidos pela IN 5/2007, mesmo com as tolerâncias.

Na Tabela 3.5, estão apresentados os teores dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn dos fertilizantes OG, OM e MM.

**Tabela 3.5.** Teores totais de Fe, Zn, Cu e Mn dos fertilizantes organomineral granulado (OG), organomineral mistura de grânulos (OM) e mineral mistura de grânulos (MM).

	<b>Fe*</b>		<b>Zn*</b>		<b>Cu*</b>		<b>Mn*</b>	
	(mg kg <sup>-1</sup> )	s						
<b>OG</b>	7950	0,0212	1900	0,0000	480	0,0134	250	0,0007
<b>OM</b>	4750	0,0071	2800	0,0071	360	0,0163	320	0,0007
<b>MM</b>	2050	0,0071	2200	0,0071	410	0,0099	100	0,0000

\*análise realizada com amostras em duplicata; s: desvio padrão.

Os teores de Fe encontrados no OG, OM e MM foram 7950; 4750 e 2050 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Para os teores de Zn, os valores foram 1900; 2800 e 2200 mg kg<sup>-1</sup> no OG, OM e MM. Os teores de Cu foram 480; 360 e 410 mg kg<sup>-1</sup>. Os teores de Mn encontrados foram 250; 320 e 100 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

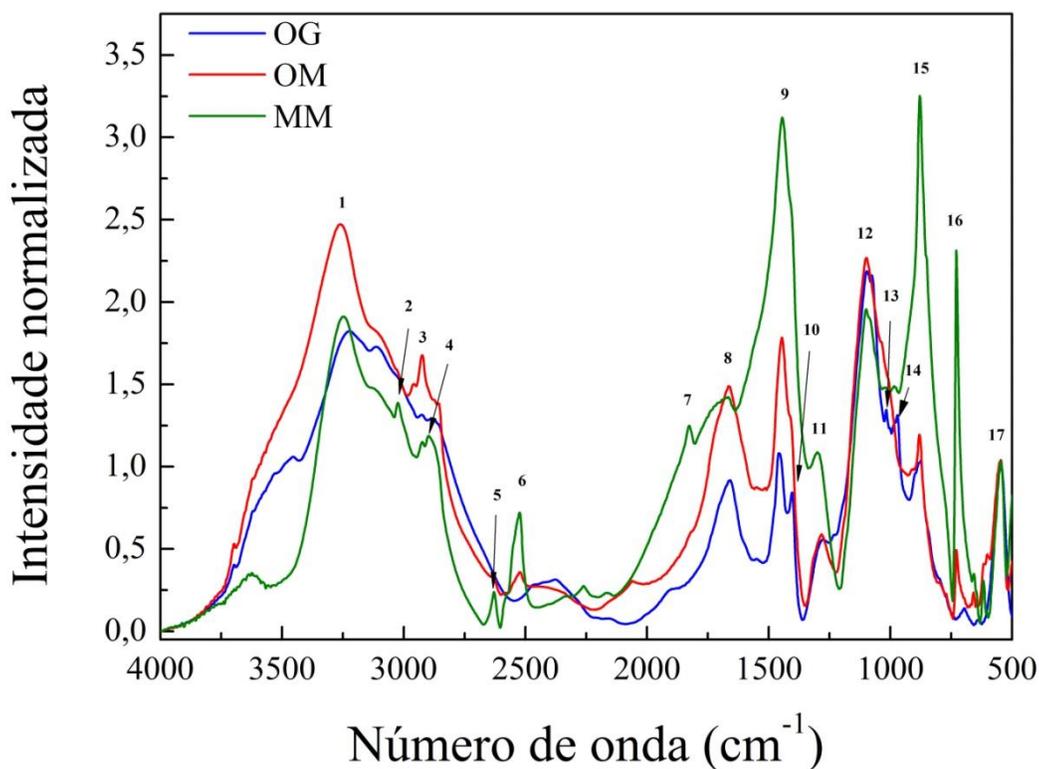
Como os três fertilizantes analisados são formulados NPK, com relação aos teores de nutrientes, eles só devem atender às garantias mínimas para macronutrientes primários pré-determinadas pela IN 25/2009 e 5/2007. Os demais teores analisados não precisam atender a nenhuma outra especificação, uma vez que esses teores não são garantidos ou declarados dos fertilizantes.

Na Figura 3.2, estão os espectros das análises de FTIR dos três fertilizantes analisados e a Tabela 3.6 mostra um resumo das bandas de intensidade com a apresentação dos picos observados e suas respectivas atribuições.

**Tabela 3.6.** Identificação dos picos das análises de FTIR (Figura 3.2) de fertilizantes organomineral granulado (OG), organomineral mistura de grânulos (OM) e fertilizante mineral mistura de grânulos (MM).

Nº do pico	Centro do pico (cm <sup>-1</sup> )	Atribuição
1	3250	v(N–H): amina e v(O–H)
2	3020	v <sub>s</sub> (C–H): CH <sub>2</sub> e CH <sub>3</sub> (lipídios)
3	2930	v <sub>s</sub> (C–H): CH <sub>2</sub> e CH <sub>3</sub> (lipídios)
4	2890	v <sub>as</sub> (C–H): CH <sub>2</sub> e CH <sub>3</sub> (lipídios)
5	2630	v(O–H): P–OH (ácidos de fósforo)
6	2520	v(O–H): P–OH (ácidos de fósforo)
7	1820	v(C=O): R–CO–O–CO–R' (ác. carboxílico)
8	1660	v(C=O): amida I e δ(H <sub>2</sub> O)
9	1445	δ(C–H): CH <sub>3</sub> (alifático) e v(N=O): M–ONO (nitrito)
10	1407	δ(C–H): CH <sub>3</sub> (carbonila e aromático)
11	1290	v(P=O): P=O (OH) (fosfato)
12	1100	v(P=O): PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (fosfato) e v(N–O): M–ONO (nitrito)
13	1017	v <sub>as</sub> (P=O): PO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (fosfato)
14	968	v <sub>as</sub> (P=O): PO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (fosfato)
15	877	δ <sub>s</sub> (CH <sub>3</sub> ): P–CH <sub>3</sub> (fosfato)
16	728	v <sub>s</sub> (P–N–C): (fosfato) e vib CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (Carbonato)
17	542	δ(P–O): PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (fosfato)

v<sub>s</sub>: estiramento simétrico; v<sub>as</sub>: estiramento assimétrico; δ: deformação. Silverstein (2005); Socrates (2001).



**Figura 3.2.** Espectros de FTIR normalizados dos fertilizantes organominerais granulados (OG), organomineral mistura de grânulos do (OM) e fertilizante mineral mistura de grânulos (MM).

O estiramento OH no pico 1 pode ser referente à presença de umidade da amostra no momento da análise ou pode representar a presença de grupamento amina, observado pelo estiramento N-H. A região, onde se encontram os picos 2, 3 e 4, é característica de estiramentos C-H de compostos orgânicos (Santos et al., 2008 e da Silva et al., 2012) com a presença de compostos lipídicos. Os picos 5 e 6 encontram-se em região característica de grupos P-OH que compõem sais de ácidos (Socrates, 2001), podendo estar relacionado ao processo de amonização do ácido fosfórico na produção de MAP. O pico 7 encontra-se em uma região característica de grupos de anidridos de ácidos carboxílicos (Socrates, 2001). A região do pico 8 refere-se às amidas (Socrates, 2001; Coates 2000), mostrando que há presença de material proteico. Os picos 9 e 10 estão em uma região caracterizada pela presença de compostos hidrocarbonetos alifáticos e/ou aromáticos (Silverol et al., 2007; Santos et al., 2008; Coates, 2000). Os picos 11, 12, 13, 14,

15, 16 e 17 estão relacionados aos compostos com fósforo, geralmente fosfatos (Socrates, 2001; Huang, 2014), essa região apresenta grande quantidade de picos com diferentes intensidades que estão relacionados aos compostos fosfatados que compõem os fertilizantes. Os picos 9 e 12 também estão relacionados à ocorrência de compostos com nitrogênio, em ligações nitrito-metal (Socrates, 2001). Nota-se que os picos 15 e 16 do MM são mais estreitos em comparação ao OG e OM, sendo este comportamento característico de materiais minerais. No pico 16, o material mineral também corresponde à presença de grupos carbonatos (Socrates, 2001), que condiz com carbonatos de cálcio e magnésio são utilizados como enchimento na fabricação de formulados NPK.

Devido às correções de linha de base e normalização dos espectros, torna-se possível inferir que os picos com maior intensidade possuem maiores quantidades dos referentes compostos em relação a um pico com menor intensidade. Dessa forma, nota-se que nos picos 6, 9, 15 e 16 o MM possui maior intensidade, podendo-se inferir que MM possui maior quantidade desses compostos em comparação à OG e OM. Ao observar o centro dos picos 6 e 16, nota-se que o MM tem uma intensidade muito superior aos demais, porém, o OM também apresenta maior intensidade que o OG. Esta maior intensidade do MM e OM em relação ao OG no pico 16 pode estar relacionada à maior quantidade de carbonatos que foram utilizados como forma de enchimento dos formulados, principalmente no MM que apresentou intensidade muito superior aos organominerais.

Nos picos 1 e 3, o OM tem maior intensidade do que OG e MM, mostrando que há maior quantidade de compostos de grupos amina e lipídicos no OM. Já nos picos 2, 5 e 7 observa-se somente a presença desses compostos no MM. O composto observado no pico 10 está presente somente no OG, podendo este estar relacionado a algum composto, uma vez que este é proveniente de um fornecedor diferente do OM e MM. No pico 8, nota-se maior intensidade para o OM e MM em comparação ao OG. No pico 11, verifica-se intensidade maior no MM quando comparado ao OG e OM, que apresentaram intensidade muito semelhante. Esse comportamento pode estar associado à presença em maior quantidade de algum fosfato mineral, podendo parte desse fosfato tem ligado a algum composto orgânico do OM e OG, que acarretou em sua diminuição.

Mesmo com todas as diferenças entre os picos e suas intensidades, nota-se que OM no pico 1 apresentou maior quantidade de compostos do grupamento amina, ou maior umidade. Nos

picos 9, 15 e 16 o MM apresentou maior quantidade de compostos alifáticos, nitrogenados e dois grupamentos fosfato.

### **3.6 CONCLUSÕES**

- Os três fertilizantes analisados não se encontram de acordo com as IN 25/2009 e 5/2007, as quais estabelecem normas sobre as especificações e garantias físicas e químicas necessárias e obrigatórias dos fertilizantes.
- OG, OM e MM apresentam solubilidade de  $P_2O_5$  em água muito semelhante, embora possuam garantias de  $P_2O_5$  sejam diferentes.
- A quantidade de carbono orgânico presente no OG e OM é muito semelhante, embora não sejam provenientes do mesmo fornecedor.
- Por meio da análise de FTIR, pode-se observar a presença de alguns compostos orgânicos proteicos, lipídicos e alifáticos nos organominerais, embora não tenham sido quantificados.
- Há ainda a necessidade de analisar os compostos orgânicos separadamente para fins de quantificação de seus componentes.

### 3.7 REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. Manual de análise de fertilizantes. 259 p. FEALQ, Piracicaba, 2009.
- ALCARDE, J.C. & PONCHIO, C.O. A ação solubilizante das soluções de citrato de amônio e de ácido cítrico sobre fertilizantes fosfatados. R. Bras. Ci. Solo, 3:173-178, 1979.
- ALCARDE, J. C. & PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração para avaliar a eficiência de fertilizantes (compactdisc). In: Simpósio de Fósforo na Agricultura Brasileira, 1., São Pedro, 2003. Anais. São Pedro: POTAFOS; ANDA, 2003.
- BENITES V. DE M.; CORREA J. C.; MENEZES J. F. S.; POLIDORO J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. BRASIL. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, 2010.
- CARVALHO, F. J. P. C. Fatores de variação dos resultados da análise química e granulométrica de fertilizantes. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Quiroz, Piracicaba, 1995.
- CASTILHOS, R. M. V.; DICK, D. P.; CASTILHOS, D. D.; MORSELLI, T. B. A. G.; COSTA, P. F. P. DA; CASAGRANDE, W. B.; ROSA, C. M. DA. Distribuição e caracterização de substâncias húmicas em vermicompostos de origem animal e vegetal. Revista Brasileira de Ciência do Solo 2008.
- COATES, J. Interpretation of infrared spectra, a practical approach. Encyclopedia of Analytical Chemistry. p. 10815–10837, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2000.
- CONAB. Série histórica de área plantada, safras 1976/77 a 2014/15. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>> acessado em fevereiro de 2015.
- DA SILVA, W. T. L.; DE NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI L. F. DE A.; MAGNONI JÚNIOR, L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. Quim. Nova, v. 35, No. 1, 35-40, 2012.
- DICK, D. P.; SILVA, L. B. DA; INDA, A. V.; KNICKER H. Estudo comparativo da matéria orgânica de diferentes classes de solos de altitude do sul do Brasil por técnicas convencionais e espectroscópicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2289-2296, 2008.

EMBRAPA; SILVA F. C. da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. 627 p. Editor técnico:, Brasília, 2009.

EMBRAPA; SILVA F. C. da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 1 ed. 370 p. Editor técnico:, Brasília, 1999.

ERNANI, P. R. Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira. Lages : Graphel,. 76 p. 2003.

FIXEN, P. E. Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. Informações agronômicas, nº 126. IPNI, Junho/2009.

FREITAS, T. T. DE; VIEIRA, Z. L.; NEVES JUNIOR, V. O.; MARQUES, R. A.; CANÊDO, R. V.; PELÁ, A. Efeitos de Fertilizantes e Corretivos no pH do Solo. VI SIC, Anápolis – Goiás, 2008.

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, P. L. O. A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregado de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p. 445-453, 2002.

GUIMARÃES, E. Caracterização química, espectroscópica e por análise térmica de ácidos húmicos e vermicompostos obtidos de esterco de diferentes animais. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Química, Curitiba, 1997.

HASSAN, N. M.; MANSOUR, N.A.; FAYEZ-HASSAN, M. & SEDQY, E. Elemental analysis of Egyptian phosphate fertilizer components samples by TGA, DTA, and IR methods. Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology. p. 98-106, v. 7, n.3, 2013.

HUANG, L.; MAO, X. -y.; WANG, J. CHEN, X.; WANG, G. -j.; LIAO, Z. -w. The effect and mechanism of improved efficiency of physicochemical pro-release treatment for low grade phosphate rock. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, v.14, n. 2 p. 316-331, 2014.

IPNI, Aumento relativo de Fertilizantes – Brasil x Mundo. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>> \l "evolucao", acessado em fevereiro de 2015.

KASAWNEH, F. E. & DOLL, E. C. the use of phosphate rock for direct application to soils. Advances in Agronomy, 1978.

MAPA. Instrução normativa SDA 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. Diário Oficial da União Seção 1, Página 20, de 28/07/2009.

MAPA. Instrução normativa MAPA Nº 5, de 23 de Fevereiro de 2007. Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. Publicado em 01/03/2007

MARTIN-NETO, L.; ANDRIULLO, A.E. & TRAGHETTA, D.G. Effects of cultivation on ESR spectra of organic matter from soil size fractions of a mollisol. *SoilSci.*, v.157, p.365-372, 1994.

OLIVEIRA, S. V.; MEDEIROS, K. M.; ARAÚJO, E. P.; BRAGA, C. R. C.; ARAÚJO, E. M.; FOOK, M. V. L. Caracterização química e morfológica do pirofosfato de cálcio obtido por via úmida. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, p. 11-20, v.4.3 2009.

PIRES, A. M. M. & MATTIAZZO, M. E. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura. Circular Técnica 19. 9 p. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2008.

POPP, T. & ULLRICH, K. H. application y calidad de los abonos complejos. BASF Reportes Agrícolas, Limburgerhof, 1985b

POPP, T. & ULLRICH, K. H. La importancia y localidad del fertilizante para la aplicación con fertilizadoras. BASF Reportes Agrícolas, Limburgerhof, 1985a.

POTES, M. DA L.; DICK, D. P.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; ROSA, A. S. DA. Matéria orgânica em Neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v.34, n. 23. 2010.

QUISPE, J. F. S. Eficiência agrônômica de fosfatos com solubilidade variável em água em solos distintos quanto a capacidade máxima de fixação de fósforo. Dissertação, 57 p. Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

RODELL, A. A. & ALCARDE, J. C. Variabilidade na composição de misturas fertilizantes decorrente de segregação e estimativa do efeito sobre a produtividade da cana-de-açúcar. STAB, Açúcar e Alcool, 1994.

ROSA, C. M. DA; CASTILHOS, R. M. V.; DICK, D. P.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. DA S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. *Ciência Rural*, v. 38, n. 6, 2008.

SANTOS, G. de A.; da SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2 ed. 654p. Metrópole, Porto Alegre, 2008.

SEAB. Estimativa de custo de produção – milho plantio direto. Disponível em: <[www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/newcp.xls](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/newcp.xls)>, acessado em fevereiro de 2015.

- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. 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.275-374.
- SILVEROL, A. C.; TOLEDO, M.C.M.; BENEDITO, D. DA S.; PROCHNOW, L.I. Compostos organo-fosfatados obtidos pelo processo humifert. *Geochimica Brasiliensis*, v. 21, n. 1, p. 86 - 98, 2007.
- SOCRATES, G. Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts. 3 ed. 347 p. John Wiley & Sond Ltd. England, 2001.
- STEVENSON, F. J.; *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*, 2 ed., John Wiley: New York, 1994.
- ZHANG, H. Animal Manure Can Raise Soil pH. *Production technology*, Department of Plant and Soil Sciences.v.10. n. 7, 1998.

# CAPÍTULO IV

## EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E EFEITO RESIDUAL DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS FOSFATADOS SÓLIDOS NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MILHO (*Zea mays* L.) EM UM LATOSSOLO

### 4.1 RESUMO

O fósforo (P) é o nutriente mais limitante de produção em solos de regiões tropicais. Esta característica decorre da alta capacidade que esses solos apresentam em fixar o P de modo que fique indisponível para que as plantas o absorva. Dessa forma, o aumento da eficiência dos fertilizantes fosfatados, o uso de fontes alternativas às minerais e o manejo adequado tornam-se ferramentas importantes para minimizar este problema. Assim, este trabalho teve como objetivo estudar a eficiência agronômica e efeito residual de fertilizantes organominerais fosfatados sólidos no desenvolvimento inicial de milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho eutroférico. O experimento foi realizado em casa de vegetação utilizando vasos de 5 kg de solo onde foram enterrados sachês contendo os três tipos de fertilizantes, organomineral granulado (OG), organomineral mistura de grânulos (OM) e mineral mistura de grânulos (MM). Após análise prévia dos fertilizantes, adotou-se as seguintes doses de P 0, 25, 50, 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P as doses utilizadas. Para balancear todos os nutrientes dos fertilizantes, exceto P, foram adicionadas soluções nutritivas ao solo. Foram conduzidas duas plantas de milho por vaso. Realizou-se 4 cultivos sucessivos nos mesmos vasos. No 35º dia, avaliou-se a altura de planta (ALT), número de folhas (NF), diâmetro de colmo (DIA), índice SPAD e massa seca da parte aérea (MSPA). Ao final dos quatro cultivos, avaliou-se a massa seca da parte aérea acumulada (MSPAT). Foram analisados os teores totais de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea, o P extraído pela parte aérea (P acumulado), somatório dos índices de recuperação de P (IRP) e índice da eficiência do uso do P (IEUP). As respostas dos dados biométricos e dos teores de P da MSPA às diferentes

doses de P e aos fertilizantes apresentaram ajustes quadráticos inicialmente, porém, ao longo dos cultivos, passaram a ter tendências lineares. O fertilizante MM foi superior ao OG e OM por apresentar maior MSPAT. O índice SPAD mostrou comportamento similar aos teores de P e de MSPA, mostrando que houve resposta às diferentes doses de P de modo que os valores SPAD foram maiores quando as plantas obtiveram melhor desenvolvimento. No somatório dos 4 cultivos, as plantas adubadas com OM e MM não diferiram entre si e apresentaram maior P acumulado e IRP em relação ao OG. De modo geral, observou-se que o fertilizante OM apresentou melhor desempenho do que OG, com exceção do primeiro cultivo.

**Palavras-chave:** Índice de recuperação de fósforo. Índice da eficiência do uso do P. Massa seca da parte aérea. SPAD. Fósforo acumulado.

## 4.2 ABSTRACT

### **Agronomic efficiency and residual effect of solid organomineral fertilizers in the initial development of corn (*Zea mays* L.) in an Oxisol**

Phosphorus (P) is the most limiting nutrient production in tropical regions. This feature stems from the high capacity of these soils have to fix the P, becoming unavailable to the plants absorb it. Thus, the increased efficiency of phosphate fertilizers, the use of alternative sources of mineral and proper management are important tools to minimize this problem. This work aimed to study the agronomic efficiency and residual effects of solid organomineral phosphate fertilizers in the early development of corn (*Zea mays* L.) in an Oxisol. The experiment was conducted in a greenhouse using pots of 5 kg of soil where sachets were buried containing the three types of fertilizer, granular organomineral (OG), mixture of granules organomineral (OM) and mixture of granules mineral (MM). After preliminary analysis of fertilizers, it was adopted the following doses of P 0, 25, 50, 100 and 200 mg kg<sup>-1</sup> of P. To balance all nutrients from fertilizers, except P, nutrient solutions were added to the soil. There were conducted two corn plants per pot. It was performed four successive crops in the same pot. After 35 days, it was evaluated the plant height

(ALT), number of leaves (NF), stem diameter (DIA), SPAD index and dry weight of shoot (MSPA). At the end of the four crops the dry mass of shoot accumulated (MSPAT) was gotten. The total N, P, K, Ca and Mg in the shoots, the P extracted by shoot (P acumulado), the sum of P recovery index (IRP) and efficiency index of the use of P (IEUP) were analyzed. The responses of biometrics and P contents of the MSPA to different doses of P and fertilizers showed quadratic settings initially, but over the cultivations, it have shown linear trends. The MM fertilizer was superior to the OG and OM due to its higher MSPAT. The SPAD index showed similar behavior to the levels of P and MSPA, showing that there was response to different doses of P so that SPAD values were higher when the plants had better development. In the sum of the four crops, plants fertilized with OM and MM did not differ and showed higher P uptake and IRP in relation to OG. In general, it was observed that OM fertilizer showed better performance than OG except in the first cultivation.

Keywords: Phosphorus recovery index. Efficiency index of the use of phosphorus. Dry mass of shoot. SPAD. Accumulated phosphorus.

### **4.3 INTRODUÇÃO**

Para safra de 2015, a estimativa de produção de milho é 78 milhões de toneladas, que corresponde a 39% da produção nacional de grãos, com uma média de produtividade de 5.000 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). Parte dessa produtividade média é impulsionada por regiões do país de produtividade superior a 10 t ha<sup>-1</sup> em resposta ao clima e altitude favoráveis, híbridos indicados para o local e o alto investimento em adubação.

Por conta de o milho ser uma cultura muito exigente em nutrientes para que consiga expressar seu potencial produtivo, o investimento com adubação é muito grande com altas doses de N, P e K principalmente. Entretanto, o aproveitamento de P pelas plantas é muito baixo, principalmente em áreas que não possuem o sistema plantio direto consolidado (Tokura et al.,

2002), com valores em volta de 25% em áreas agrícolas sob sistema de plantio convencional (Kiehl, 2010).

Dessa forma, o bom manejo cultural e do solo é o caminho para redução dos custos de produção ao longo do tempo e, por conseguinte, aumento do lucro. O tratamento de semente, o controle fitossanitário e o manejo do solo fazem parte desse manejo cultural, além da adubação, que é um responsável por grande parte dos custos de produção (SEAB, 2015). Uma alternativa para redução desses custos é o aumento da eficiência dos fertilizantes, seja por meio de tecnologia ou novas formas de manejo da adubação, o uso de outros materiais como base dos fertilizantes e o uso racional. A adoção de várias dessas medidas de manejo pode auxiliar no melhor desenvolvimento das culturas, amenizando dificuldades como as enfrentadas pela adubação fosfatada em solos tropicais.

Os solos localizados em regiões de clima tropical são, geralmente, conhecidos por serem muito intemperizados e profundos. Nesses solos, o fósforo (P) recebe uma atenção especial do ponto de vista de manejo, por apresentar baixa disponibilidade às plantas, baixa mobilidade no solo e, em virtude disso, quando disponível, está mais abundante nos horizontes superficiais, decrescendo com o aprofundamento do solo (Rocha et al., 2005), que desfavorece o aprofundamento radicular. Porém, o principal fator que caracteriza a dinâmica do P no solo é o processo de adsorção e de precipitação que este sofre, tornando, em muitos casos, o P em um nutriente limitante para o pleno desenvolvimento das culturas (López-Búcio et al., 2000; Hinsinger, 2001).

Em decorrência da alta capacidade que os solos tropicais têm em reter o P, os fertilizantes fosfatados apresentam eficiência variada, sendo necessária, muitas vezes, a aplicação em grandes quantidades. Essa eficiência é influenciada tanto por características intrínsecas quanto extrínsecas aos fertilizantes, como o tipo de fertilizantes, forma e localização da aplicação e quantidade (Ernani et al., 2001). As características do solo, como pH, teor de argila, Ca, Fe e C orgânico também interferem no comportamento do fertilizante (Sanchez & Salinas, 1981).

Em virtude disso, os fertilizantes organominerais vêm tendo certo destaque devido aos benefícios, já conhecidos, dos fertilizantes minerais atrelados à base orgânica que é fonte de substâncias húmicas, nutrientes prontamente disponíveis e de liberação gradual, que são oriundos de compostos mais recalcitrantes. Segundo Benites et al. (2010), o mercado de organominerais cresceu a uma média anual de 10% na última década. Entretanto, ainda não existe um consenso

com relação a este tipo de fertilizante, que remete a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o tema.

Assim sendo, o seguinte trabalho tem como objetivo estudar a eficiência agrônômica e efeito residual de fertilizantes organominerais fosfatados sólidos no desenvolvimento inicial de milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho eutroférico.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá – PR.

Para montagem do experimento, foi utilizado o horizonte B (1,0 a 2,0 m de profundidade) de um Latossolo Vermelho eutroférico, com baixa concentração de P e matéria orgânica, proveniente de uma área não agrícola do município de Maringá, região noroeste do estado do Paraná.

O solo coletado foi submetido à secagem ao ar livre, peneirado em peneira de malha 2,0 mm e armazenado em caixas plásticas de 500 litros. Após estes procedimentos, foram tomadas amostras do solo para fins de determinações analíticas para caracterização do solo (Tabela 4.1).

As análises químicas e físicas do solo foram realizadas nos laboratórios de fertilidade do solo e de física do solo, pertencentes ao Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá. As amostras de solo foram secas em estufa de circulação forçada a 45°C por um período de 48 horas, sendo acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados para posterior determinação analítica, conforme descrito por Embrapa (1997). Foram realizadas as seguintes determinações no solo: pH em água e em  $\text{CaCl}_2(1:2,5)$ ;  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  (método SMP);  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (extraídos com KCl 1M);  $\text{K}^+$ , P, Fe, Cu, Zn e Mn (extraídos com Mehlich 1) e S (método do fosfato monocalcico).  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Fe, Cu, Zn e Mn foram determinados pelo método de Espectrometria de absorção atômica. O P foi determinado por espectrofotometria e K foi determinado por fotometria de chama. O  $\text{Al}^{3+}$  foi determinado por titulação com NaOH 0,025mol  $\text{L}^{-1}$  e determinação da matéria orgânica foi feita pelo método Walkley & Black.

Após as determinações analíticas, foram realizadas as correções necessárias. A calagem do solo foi realizada com a utilização de carbonato de cálcio e magnésio, em relação 4:1, para

e elevar o V% do solo a 70%. O solo foi acondicionado em sacos de 10 L, onde o calcário foi misturado, o solo foi transferido para vasos e foi adicionado água destilada no volume de 60% da porosidade total do solo, os vasos foram cobertos para não perderem água e permaneceram encubados por 45 dias. Após este período, os sacos foram retirados e o solo secou naturalmente por 10 dias e foi revolvido antes dos procedimentos de adubação e plantio, para destorroamento do solo.

**Tabela 4.1.** Atributos físicos e químicos do horizonte B do Latossolo Vermelho eutroférico coletado.

Atributo	Unidade	Valor
Areia grossa	%	06
Areia fina	%	09
Silte	%	04
Argila	%	81
pH CaCl <sub>2</sub>	-	5,6
pH H <sub>2</sub> O	-	5,6
Al <sup>3+</sup> (1)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,0
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (2)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,73
Ca <sup>2+</sup> (1)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,73
Mg <sup>2+</sup> (1)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,97
K <sup>+</sup> (3)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,13
P <sup>(3)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	0,0
C <sup>(4)</sup>	g dm <sup>-3</sup>	4,98
S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (5)	mg dm <sup>-3</sup>	16,82
Fe <sup>(1)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	84,92
Zn <sup>(1)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	0,47
Cu <sup>(1)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	10,69
Mn <sup>(1)</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	20,25

(1) extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; (2) método SMP; (3) extraídos com Mehlich 1; (4) método Walkley & Black;

(5) extraído pelo método Fosfato Monocálcico

As análises químicas e físicas dos fertilizantes foram realizadas no laboratório de fertilizantes, pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá para fins de caracterização e obtenção dos teores dos nutrientes de cada fertilizante. Os dados de caracterização dos fertilizantes encontram-se no Capítulo 3.

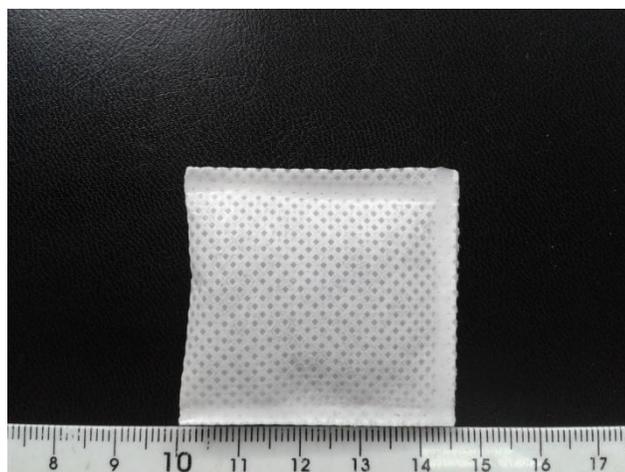
O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 (fertilizante) x 5 (doses de P), resultando em 15 tratamentos com 5 repetições, totalizando 75 unidades experimentais. As unidades experimentais foram representadas por vasos contendo 5 kg de solo.

Os tratamentos foram compostos de três formulados NPK, um 5-20-2 organomineral granulado (OG), um 3-15-2 organomineral mistura de grânulos (OM) e um 3-15-2 mineral mistura de grânulos (MM), e foram utilizadas cinco doses de P (0, 25, 50, 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup>).

O OG foi fornecido pela EMBRAPA SOLOS (Rio Verde – GO), o OM e o MM foram fornecidos pela empresa MINORGAN (Mandaguari – PR). O OM e MM possuem fosfato monoamônico (MAP), como fornecimento mineral de P, KCl como fonte de K e Calcogran (CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>) como enchimento. Já o OG possui somente MAP como fonte mineral em sua formulação. Como base orgânica dos organominerais, foi utilizada cama de aviário moída para o OG e peletizada para o OM.

As doses dos fertilizantes foram dimensionadas para uma quantidade de 5 kg de solo e essas doses embaladas dentro de sachês feito de tecido TNT (tecido não tecido), como mostrado na Figura 4.1. Os sachês foram selados com auxílio de um selador de saco plástico e enterrados nos vasos. Os sachês foram colocados no centro dos vasos a cinco centímetros de profundidade, simulando sulco de cultivo.

Após caracterização prévia de cada fertilizante (Capítulo 3), os teores dos nutrientes, exceto de P, foram balanceados com a adição de soluções nutritivas, conforme descritas por Novais et al. (1991), com o objetivo de isolar os efeitos das doses de P.



**Figura 4.1.** Sachê de tecido não tecido (TNT) contendo fertilizante.

A semeadura foi efetuada com quatro sementes do híbrido de milho Pioneer 30F53YH por vaso e foi efetuado desbaste 5 dias após a emergência, deixando somente duas plantas por vaso. A umidade do solo foi mantida por volta de 50% da porosidade total do solo e o controle de perda de água por evapotranspiração foi realizado por meio do método de pesagem dos vasos a cada dois dias. A diferença de peso em relação ao peso inicial corresponde ao volume de água destilada a ser adicionado aos vasos. Não foi considerado o incremento da produção de material vegetal.

A cada cinco dias foram realizados rodízios dos vasos nas bancadas, a fim de se evitar possível favorecimento dos vasos decorrentes de alguma irregularidade da iluminação ou temperatura da casa de vegetação.

No dia anterior ao corte, foram feitas avaliações biométricas das plantas. Foram feitas medidas de diâmetro do colmo (DIA) com auxílio de paquímetro, altura de planta (ALT) com auxílio de trena, SPAD e número de folhas completamente expandidas (NF).

Os cortes das plantas foram realizados no 35º dia após a emergência. Após o corte, essas plantas foram lavadas com água destilada, acondicionadas em sacos de papel tipo Kraft devidamente identificados de acordo com os tratamentos e levadas à estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 65°C por 72 horas.

Após a coleta dos dados biométricos e do corte das plantas do primeiro cultivo, foram realizados mais três cultivos. Dois dias após a retirada das plantas de cada cultivo, foi realizado um novo cultivo da mesma forma que foi realizado o primeiro, exceto pela implantação dos

sachês que foram mantidos nos vasos e pela adição das soluções de compensação de nutrientes. A partir do segundo cultivo, a cada 10 dias foram feitas adubações nitrogenada e potássica de cobertura com soluções de ureia e cloreto de potássio, nas doses 50 mg kg<sup>-1</sup> de N e 70 mg kg<sup>-1</sup> de K, respectivamente.

Posteriormente a secagem da parte aérea das plantas, determinou-se a massa seca da parte aérea (MSPA) e, em seguida, foram trituradas em moinho tipo Willey para que o material fosse encaminhado à análise química total. O material vegetal seco e moído foi submetido à digestão nitro-perclórica e sulfúrica as determinações analíticas (Malavolta et al., 1997). Os teores de Ca, Mg, Fe, Cu Mn e Zn da MSPA foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. P e K foram determinados por meio dos métodos colorimétrico do amarelo de vanadato (P total) e fotometria de chama, respectivamente. O N foi determinado pelo método micro-Kjedahl (Malavolta et al., 1997). Os teores de P da MSPA foram multiplicados pelos valores de MSPA de seus respectivos tratamentos e cultivos e, em seguida, foram somados a fim de se obter as quantidades de fósforo extraídas pela parte aérea (P acumulado) das plantas de milho ao longo dos 4 cultivos.

Os tratamentos também foram avaliados por meio do cálculo do Índice de Recuperação de P (IRP) ou aproveitamento de P e do Índice de Eficiência de Uso de P (IEUP), descritos por do Couto (2011). Os cálculos foram feitos conforme as equações 1 e 2:

$$IRP (\%) = \left( \frac{PAP}{QPA} \right) \times 100 \dots \dots \dots (Eq. 1)$$

Em que:

IRP ou Aproveitamento (%) = Índice de Recuperação de P (IRP) do fertilizante (%);

PAP= quantidade de P acumulado na planta (mg vaso<sup>-1</sup> de P); e

QPA= quantidade de P aplicado (mg vaso<sup>-1</sup> de P).

$$IEUP (g g^{-1}) = \frac{(MSPA_{trat} - MSPA_{test})}{QPA} \dots \dots \dots (Eq. 2)$$

Em que:

IEUP = Índice de Eficiência de Uso de P para produção de massa seca da parte aérea (g de MSPA g<sup>-1</sup> de P);

MSPA<sub>trat</sub>= produção de massa seca da parte aérea no tratamento (g vaso<sup>-1</sup> de MSPA);

MSPA<sub>test</sub>= produção de massa seca da parte aérea no tratamento controle (sem aplicação de P) (g vaso<sup>-1</sup> de MSPA); e

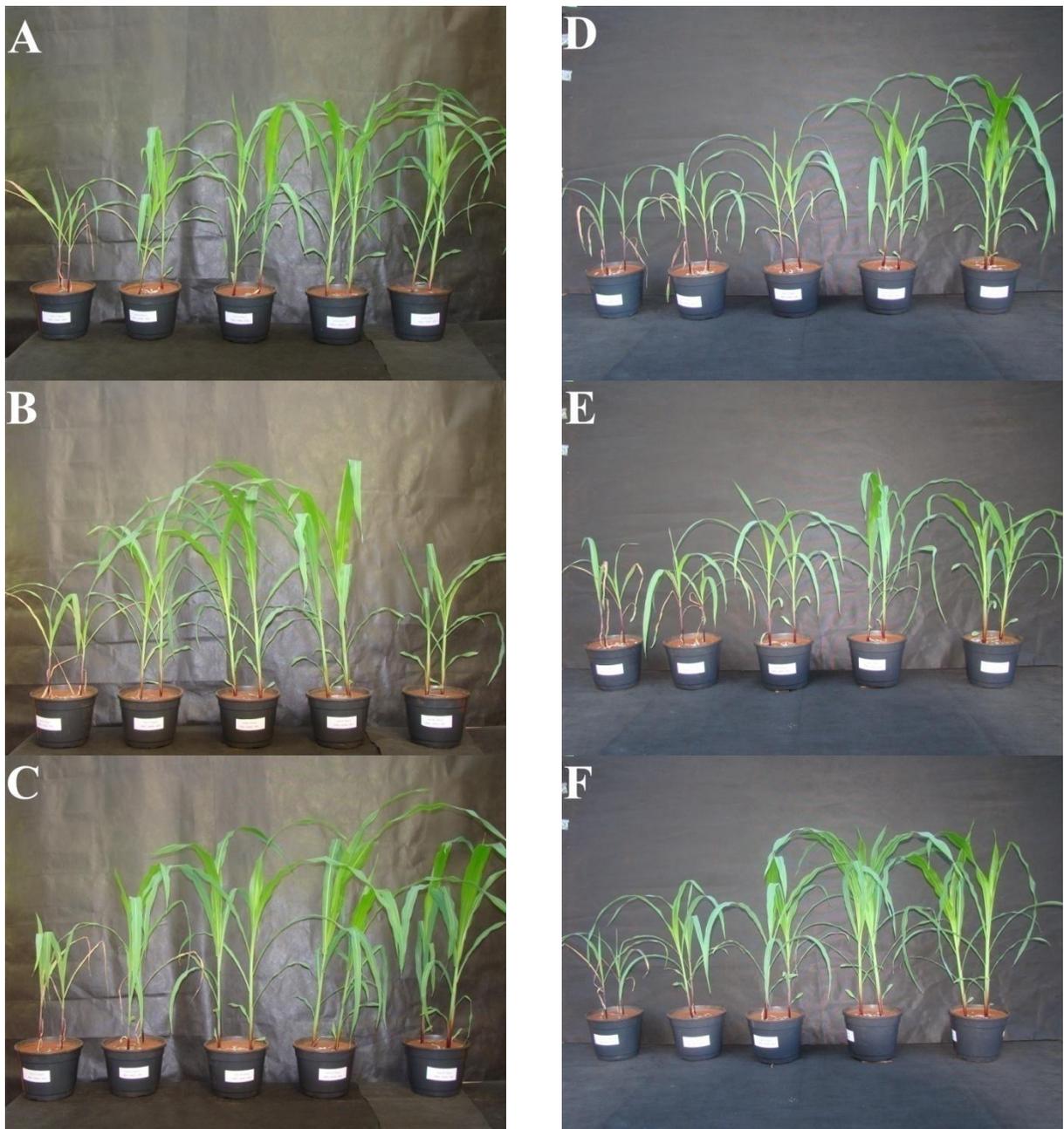
QPA= dose de P aplicada (g vaso<sup>-1</sup> de P).

Os dados foram submetidos à análise de variância para os fatores fertilizantes, doses e a interação entre fertilizantes e doses utilizando o software SISVAR, sendo as variáveis qualitativas submetidas ao teste de médias Skott-Knott e as variáveis quantitativas à regressão, a 5% de probabilidade.

## **4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

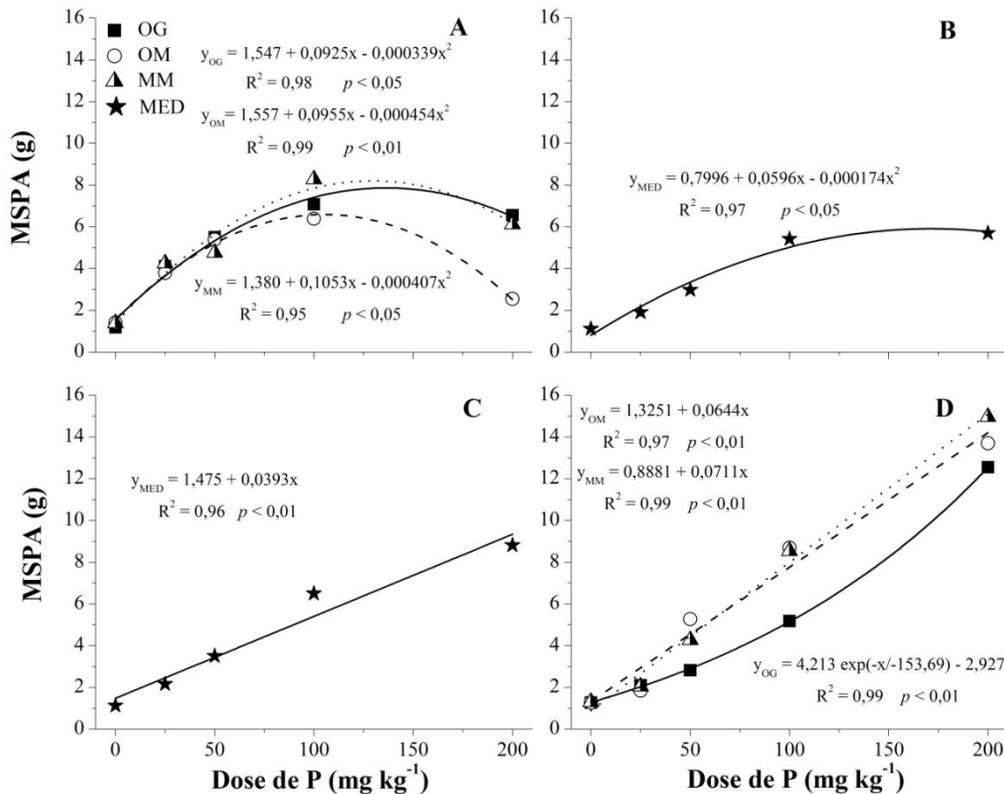
### **4.5.1 DADOS BIOMÉTRICOS**

Na Figura 4.2, pode-se ter uma visão geral do efeito das doses (0, 25, 50, 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P) e dos fertilizantes fosfatados (OG, OM e MM) nas plantas de milho após 35 dias de emergência. Nas Figuras 4.2 A, B e C, tem-se o primeiro cultivo do experimento para os fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente. Já nas Figuras 4.2 D, E e F, observa-se o segundo cultivo de milho para os fertilizantes OG, OM e MM, respectivamente. As fotos referentes aos demais cultivos (terceiro e quarto) podem ser observadas no Anexo 1.



**Figura 4.2.** Visão geral das plantas submetidas às diferentes doses de P e fertilizantes fosfatados (organomineral granulado – OG, organomineral mistura de grânulos – OM e mineral mistura de grânulos – MM) em plantas de milho (*Zea mays* L.) com 35 dias após a emergência. Primeiro cultivo: A) OG, B) OM e C) MM. Segundo cultivo: D) OG, E) OM e F) MM.

Os resultados de MSPA dos 4 cultivos podem observados nas Figuras 4.3.



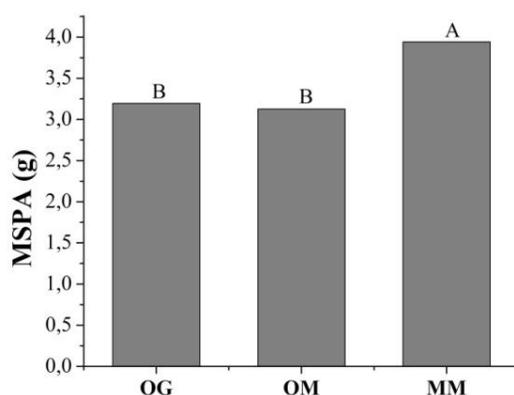
**Figura 4.3.** Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) de plantas de milho em função das doses de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos; MED – efeito médio das doses independente do formulado.

No primeiro cultivo (Figura 4.3 A), observou-se significância na análise de variância para a interação dos fatores fertilizante e dose (Anexo 2). Para os 3 fertilizantes testados, o melhor modelo ajustado foi o quadrático. A máxima produção de MSPA foi observada nas doses de 136,43; 105,17 e 129,36  $\text{mg kg}^{-1}$  de P proporcionando uma produção de 7,86; 6,58 e 8,19 g para OG, OM e MM, respectivamente. A ordem decrescente de produção de MSPA foi  $MM > OG > OM$ .

Para o fertilizante OM, observou-se diminuição da MSPA entre a dose de 100 para de 200  $\text{mg kg}^{-1}$  de P, aproximadamente 26,1%. Porém, não foi detectado dentre as variáveis

analisadas algum elemento ou substância que pudesse justificar tal diminuição, conforme dados analisados no Capítulo 3. Porém, este fato não foi observado nos demais cultivos.

Os fatores fertilizante e dose apresentaram diferença significativa no segundo cultivo (Anexo 2 e Figura 4.3 B). Desta forma, gerou-se um ajuste médio com uma equação quadrática para os 3 fertilizantes testados, sendo a dose de 171,26 mg kg<sup>-1</sup> de P que resultou na máxima produção de MSPA (5,90 g). Em relação ao efeito dos fertilizantes, constatou-se que o fertilizante MM apresentou o maior valor médio de MSPA no segundo cultivo, sendo superior ao OG e OM, que não diferiram entre si (Figura 4.4).



**Figura 4.4.** Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) do segundo cultivo de plantas de milho em função de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

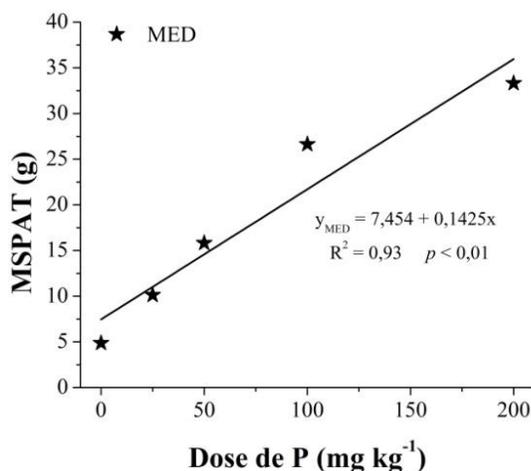
A MSPA do terceiro cultivo (Figura 4.3 C) apresentou significância apenas para o fator dose (Anexo 2), obtendo ajuste linear com coeficiente angular de 0,0393 para a média dos fertilizantes dentro de cada dose.

No quarto cultivo (Figura 4.3 D), observou-se diferença estatística para a interação entre fertilizante e dose (Anexo 2). Para OM e MM, o melhor ajuste encontrado foi com o modelo linear. Já para o OG, não foi possível ajustar um modelo de regressão linear, sendo utilizado um modelo de regressão não-linear exponencial. Os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OM e MM foram 0,0644 e 0,0711, respectivamente; com ganho de produção de MSPA por

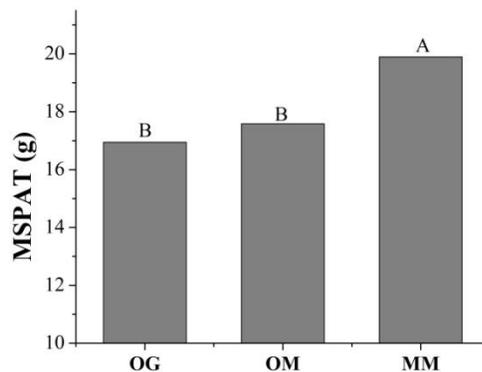
unidade de P superior para o MM. O OG apresentou ganhos menores de MSPA nas doses menores de P, tendo seu ganho unitário aumentado concomitantemente com as doses de P.

Independente da significância da interação entre dose e fertilizante, observou-se que com o número de cultivos os modelos de regressão ajustados tenderam a formas lineares (Figura 4.3). Este comportamento pode ter ocorrido pela maior exaustão de P nas menores doses de fertilizante aplicado proporcionando deslocamento dos teores para valores menores, podendo, também, ser atribuída à adsorção de P, o que foi reduzindo a quantidade de P disponível. Dessa forma, a partir do segundo cultivo, os valores de 0, 25, 50, 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P tornaram-se apenas teóricos, pois os valores reais no solo são inferiores aos aplicados no primeiro cultivo.

Para a MSPAT (Figura 4.5), apenas os fatores fertilizante e dose apresentaram diferença significativa (Anexo 2). Logo, gerou-se um ajuste médio com uma equação linear para os 3 fertilizantes testados, com um coeficiente angular de 0,1425, sendo este o ganho de MSPAT por unidade de P aplicada. Demonstrou-se que o fertilizante MM resultou no maior valor médio de MSPAT, assim como no segundo cultivo, sendo superior ao OG e OM, que não diferiram entre si (Figura 4.6).



**Figura 4.5.** Massa Seca da Parte Aérea acumulada (MSPAT) de plantas de milho (*Zea mays* L.) ao longo de 4 cultivos sucessivos em função das doses de fertilizantes fosfatados sólidos. MED – efeito médio das doses independente do formulado.



**Figura 4.6.** Massa Seca da Parte Aérea acumulada (MSPAT) de plantas de milho (*Zea mays* L.) ao longo de 4 cultivos sucessivos em função de fertilizantes organominerais e mineral fosfatados sólidos. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos e MM – mineral mistura de grânulos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

No primeiro cultivo (Figura 4.3 A), foram observadas diferenças entre os três fertilizantes para produção de MSPA, com uma acentuada inferioridade do OM. O OG e o MM mostraram comportamento semelhante. Nota-se que até a dose 50 mg kg<sup>-1</sup> de P o comportamento e a produção de MSPA do OG, OM e MM mostram-se semelhantes. Porém, a partir desta dose, o OM passa a ter um crescimento bem inferior aos demais fertilizantes testados a ponto de na dose 200 mg kg<sup>-1</sup> de P apresentar uma produção de MSPA inferior a dose de 25 mg kg<sup>-1</sup> de P. Outro ponto a ser destacado é diferença entre o OM e o MM, pois, por serem produzidos pela mesma empresa, possuem as mesmas fontes de N, P e K, exceto pela cama de aviário peletizada, que somente o OM possui. Dessa forma, esta inferioridade apresentada pelo OM na produção de MSPA pode ser atribuída a algum efeito deletério causado pela cama de aviário peletizada nas maiores doses.

No entanto, Frazão (2013), avaliando a eficiência agrônômica de fertilizantes organominerais granulados, produzidos a partir de cama de aviário e ST ou fosfatos naturais e do ST em três cultivos sucessivos de milho, observou que a maior produção de MSPA foi obtida pelo organomineral com ST no primeiro e segundo cultivos, sendo este superior também ao ST. Já no terceiro cultivo, não houve diferença entre os fertilizantes. Esta superioridade também foi observada na produção de MSPA acumulada. Esses resultados foram atribuídos à associação

organomineral que pode ter diminuído a fixação do P oriundo do ST, uma vez que o ST puro teve desempenho inferior. Benefícios atribuídos a cama de aviário com relação à disponibilidade de P foram observados por Abdala et al. (2012) que, estudando o comportamento do P, em um solo argiloso, em resposta a doses crescentes de cama de aviário aplicada na superfície, observaram que, com o aumento das doses de cama de aviário, a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) reduziu, sendo mais evidente na maior dose ( $100 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), justificado pela competição da matéria orgânica com os íons fosfato pelos mesmos sítios de adsorção no solo. Além disso, a cama de aviário promoveu um aumento do pH do solo, reduzindo a atividade do Al.

Costa et al., (2011), avaliando fertilizantes minerais, orgânicos e orgânico mais mineral nas culturas do trigo e do milho, apresentaram resultados mostrando que, na cultura do trigo, os componentes de produção e produtividade não diferiram em função do tipo de fertilizante. Entretanto, para cultura do milho, o fertilizante mineral foi superior aos orgânicos e a combinação mineral mais orgânico, corroborando com os resultados de MSPAT (Figura 4.5). Isso foi relacionado às diferenças de solubilidade entre as fontes utilizadas. Couto (2011) também observou maior produção de MSPA no tratamento com MAP, em detrimento dos organominerais na cultura do milheto, ao avaliar a eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados na absorção de nutrientes por milheto.

Ferreira (2014), avaliando a eficiência agrônômica de fertilizantes organominerais em relação à disponibilidade de P, observou que, tanto para solos argilosos quanto para arenosos, o desempenho dos fertilizantes fosfatados solúveis, MAP e ST, foi superior aos organominerais sólidos e líquidos para produção de MSPA de milho. Os resultados foram fundamentados no fato de o MAP e ST apresentarem maior solubilidade que os demais fertilizantes.

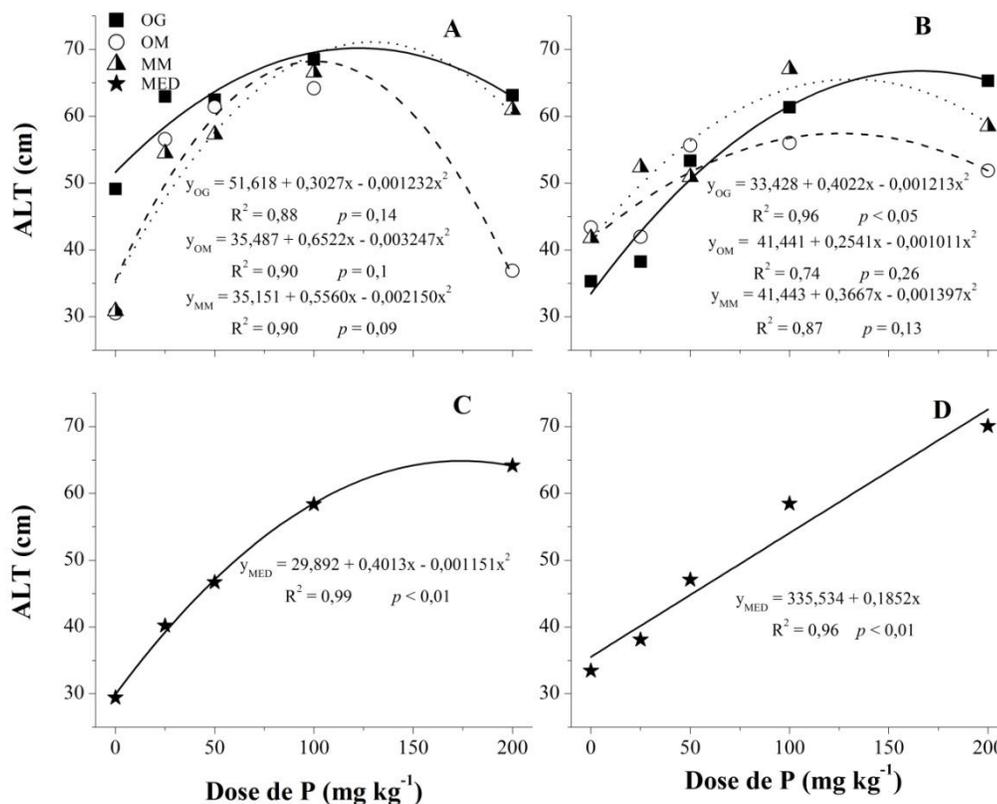
O melhor desempenho inicial de fertilizantes minerais pode ser justificado por sua maior solubilidade e disponibilidade às plantas e também porque parte dos nutrientes dos organominerais possuem liberação mais lenta e gradual (Kiehl, 2010).

Cassol et al. (2012) avaliaram a disponibilidade de macronutrientes e o rendimento de milho fertilizado com dejetos suíno. Observaram que a dose de  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos suíno apresentou maior rendimento de grãos do que o tratamento mineral com formulado NPK. Entretanto, essa vantagem não foi constatada quando comparado à associação de dejetos com o fertilizante mineral. Isso foi atribuído ao benefício que a cultura teve por conta da maior disponibilidade hídrica decorrente da diminuição do teor de  $\text{Al}^{3+}$  do solo na camada 20-40 cm,

que possibilitou maior crescimento e aprofundamento radicular. Moss et al. (2001) e Rasool et al. (2008), comparando o efeito de fertilização orgânica e mineral, concluíram que, quando em doses adequadas, a utilização de esterco animal pode substituir a adubação mineral por conseguir suprir a necessidade da plantas por nutrientes; além de promover outros benefícios para o solo. Porém, o que pode inviabilizar seu uso isolado são as grandes quantidades necessárias para aplicação, que depende de muito trabalho e pode tornar o processo oneroso. E, além disso, quando muito concentrados nas camadas mais superficiais do solo, podem sofrer escoamento superficial e carregar nutrientes para lagos e rios, causando eutrofização das águas (Cassol et al., 2012).

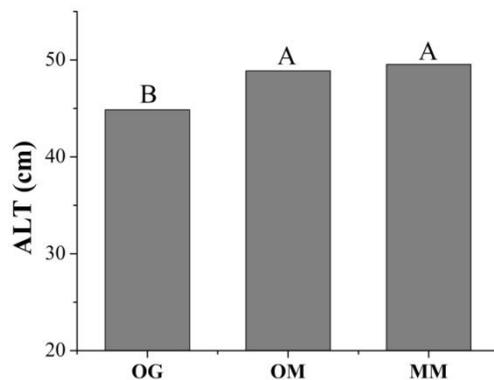
Os resultados de altura de plantas (ALT) dos 4 cultivos estão apresentados na Figura 4.7. No primeiro e segundo cultivos (Figura 4.7 A e B), observou-se significância para a interação dos fatores fertilizante e dose (Anexo 3). Para o primeiro cultivo, o modelo que melhor ajustou-se para os 3 fertilizantes testados foi o quadrático. A maior ALT foi observada nas doses de 122,85; 100,43 e 129,30 mg kg<sup>-1</sup> de P promovendo valores de ALT de 70,21; 68,23 e 71,1 cm para OG, OM e MM, respectivamente. Para o fertilizante OM, observou-se diminuição da ALT entre a dose de 100 para a de 200 mg kg<sup>-1</sup> de P, aproximadamente 47,17%. A ordem decrescente da maior ALT atingida foi MM > OG > OM, para o primeiro cultivo. Na Figura 4.1 B, é possível visualizar essa diferença. Assim, como para MSPA, não foi detectado dentre as variáveis analisadas algum elemento ou substância que pudesse justificar essa diminuição de ALT, conforme dados analisados no Capítulo 3. Porém, este fato não foi observado nos demais cultivos com tanta intensidade.

Como no primeiro cultivo, o modelo que obteve melhor ajuste para os 3 fertilizantes testados no 2º cultivo foi o quadrático (Anexo 3 e Figura 4.7 B). Desta forma, a maior ALT para OG, OM e MM foi observada nas doses de 165,79; 125,67 e 131,24 mg kg<sup>-1</sup> de P, resultando nas ALT de 66,77; 57,41 e 65,51 cm, respectivamente. A ordem decrescente da maior ALT atingida foi OG > MM > OM, no segundo cultivo.



**Figura 4.7.** Altura de plantas (ALT) de milho (*Zea mays* L.) em função das doses de fertilizantes fosfatados organominerais e mineral sólidos. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos; MED – efeito médio das doses independente do formulado.

Os fatores fertilizante e dose apresentaram diferença significativa no terceiro cultivo (Anexo 3 e Figura 4.7 C). Desta forma, gerou-se um ajuste médio com uma equação quadrática para os 3 fertilizantes testados, sendo que a dose de  $174,33 \text{ mg kg}^{-1}$  de P resultou na ALT máxima atingida de 64,87 cm. O efeito médio dos fertilizantes no terceiro cultivo pode ser observado na Figura 4.8. Constatou-se que os fertilizantes OM e MM não diferiram entre si, porém, apresentaram maior valor médio de ALT do que OG, no terceiro cultivo.



**Figura 4.8.** Altura de plantas (ALT) do terceiro cultivo de milho (*Zea mays* L.) em função de fertilizantes fosfatados organominerais e mineral sólidos. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos e MM – mineral mistura de grânulos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

A ALT do quarto cultivo (Figura 4.7 D) diferiu significativamente apenas para o fator dose (Anexo 3), sendo ajustado a um modelo linear para a média dos fertilizantes dentro de cada dose. O coeficiente angular do modelo ajustado foi 0,1852, sendo este o ganho na ALT (cm) por unidade de P aplicada.

Pôde-se perceber que no primeiro e segundo cultivos o OG e MM apresentaram ALT muito próximas e muito superiores ao OM. Entretanto, no terceiro cultivo, o OG e OM passam a ter comportamento invertido, de modo que OM e MM não diferiram entre si e foram superiores ao OG. E no quarto cultivo as médias de ALT em função dos 3 fertilizantes não diferiram. É possível, então, inferir que o MM apresentou maior estabilidade ao longo dos cultivos, embora todos tenderam a apresentar desempenho semelhante ao longo do tempo.

Frazão (2013), ao comparar fertilizantes organominerais com ST ou com fosfato natural e ST, observou que nos dois primeiros cultivos de milho o organomineral com ST apresentou ALT igual ou superior ao ST, sendo ambos melhores que os organominerais com fosfato natural. Porém, a partir do segundo cultivo, não foi notada diferença entre nenhuma das fontes. Este resultado foi creditado à possível redução da fixação de P no solo por causa da associação organomineral.

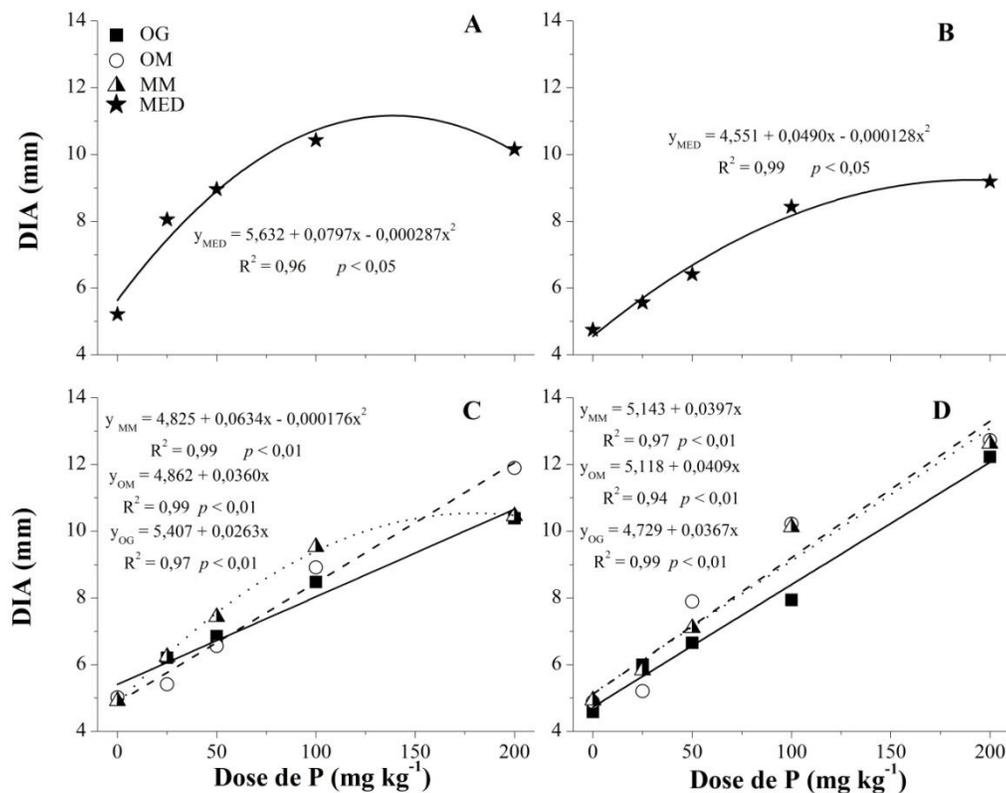
Carvalho et al. (2011), ao compararem fertilizantes minerais, orgânicos e a associação deles, observaram que, ao associar resíduos orgânicos à adubação mineral, o efeito do fertilizante mineral sobre a altura das plantas de soja, que antes era quadrático, passou a ser linear. Isso mostra que há interação positiva entre a aplicação de resíduos orgânicos e um formulado mineral NPK, de modo que houve otimização do fertilizante mineral. Isso é justificado pelo fato de que, às vezes aplicação de altas doses de fertilizantes minerais em solos com baixa e média CTC, podem não elevar proporcionalmente o rendimento por conta de possíveis perdas. Além disso, uma das causas do benefício dos resíduos orgânicos é o aumento de radicais orgânicos no solo que se ligam aos nutrientes evitando perdas por lixiviação. Entretanto, Ferreira (2014) encontrou maiores valores de altura de plantas de milho para os tratamentos com fontes minerais (MAP e ST) apresentando melhor desempenho que os organominerais, em solo argiloso.

Na Figura 4.9, encontram-se os dados referentes ao diâmetro de colmo (DIA) dos 4 cultivos. No primeiro cultivo (Figura 4.9 A), o DIA apresentou significância apenas para o fator dose (Anexo 4), tendo ajuste quadrático para a média dos 3 fertilizantes dentro de cada dose. O máximo DIA foi alcançado na dose de  $138,85 \text{ mg kg}^{-1}$  de P, que resultou em um DIA de 11,16 mm.

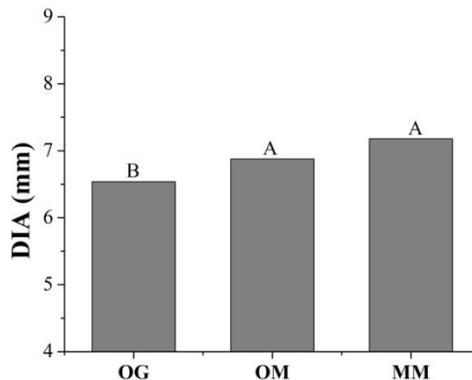
Os fatores fertilizante e dose diferiram significativamente no segundo cultivo (Anexo 4 e Figura 4.9 B). Deste modo, gerou-se um ajuste médio com uma equação quadrática para os 3 fertilizantes testados, sendo que a dose de  $191,41 \text{ mg kg}^{-1}$  de P resultou em um DIA de 9,24 mm. O efeito médio de todas as doses para um mesmo fertilizante, no segundo cultivo, pode ser observado na Figura 4.10. Verificou-se que o fertilizante OG apresentou o menor valor médio de DIA no segundo cultivo, sendo inferior ao OM e MM, que não diferiram entre si.

O terceiro e quarto cultivos (Figura 4.9 C e D) apresentaram significância na análise de variância para a interação entre os fatores fertilizante e dose (Anexo 4). No terceiro cultivo, o melhor ajuste encontrado para OG e OM foi o modelo linear. Já o MM ajustou-se ao modelo quadrático. Os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OG e OM foram 0,0263 e 0,0360, respectivamente. Sendo o aumento de DIA por unidade de P superior para o OM. O maior DIA apresentado pelo MM foi na dose  $180,11 \text{ mg kg}^{-1}$  de P proporcionando um DIA de 10,53 mm.

No quarto cultivo (Figura, 4.9 D), o melhor ajuste para o OG, OM e MM foi o modelo linear, com coeficientes angulares de 0,0367; 0,0409 e 0,0397, respectivamente, sendo que o OM apresentou maior aumento de DIA por unidade de P aplicado.



**Figura 4.9.** Diâmetro de colmo (DIA) de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função das doses de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos; MED – efeito médio das doses independente do formulado.



**Figura 4.10.** Diâmetro de colmo (DIA) de plantas de milho (*Zea mays* L.), do segundo cultivo, em função de fertilizantes organominerais e mineral fosfatados sólidos. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos e MM – mineral mistura de grânulos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

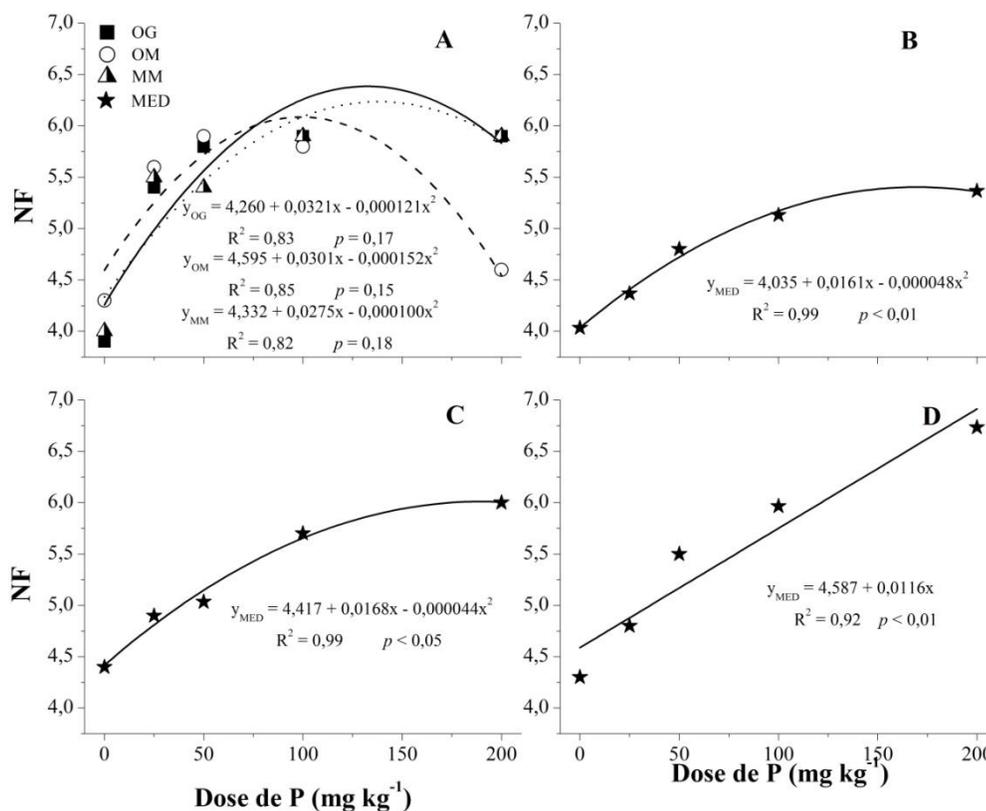
Ferreira (2014) observou que o MAP e ST apresentaram os maiores valores de DIA de milho quando comparados a organominerais, mostrando melhor desempenho dos compostos puramente minerais, devido a sua maior solubilidade e disponibilizando mais nutrientes para planta.

Os resultados de número de folhas por planta (NF) dos 4 cultivos podem ser observados nas Figuras 4.11. No primeiro cultivo (Figura 4.11 A), observou-se significância para a interação dos fatores fertilizante e dose (Anexo 5). Para os 3 fertilizantes testados, o melhor modelo ajustado foi o quadrático, com a máxima produção de NF sendo observada nas doses de 132,64; 99,01 e 137,5 mg kg<sup>-1</sup> de P, que resultou em valores de NF de 6,39; 6,08 e 6,22 para OG, OM e MM, respectivamente. Para o fertilizante OM, observou-se, também, uma diminuição do NF entre a dose de 100 para de 200 mg kg<sup>-1</sup> de P, no primeiro cultivo.

O NF do terceiro cultivo (Figura 4.11 C) apresentou significância apenas para o fator dose (Anexo 5), com ajuste quadrático para a média dos fertilizantes dentro de cada dose, sendo que o maior NF foi alcançado na dose de 190,91 mg kg<sup>-1</sup> de P, gerando um NF de 6,02.

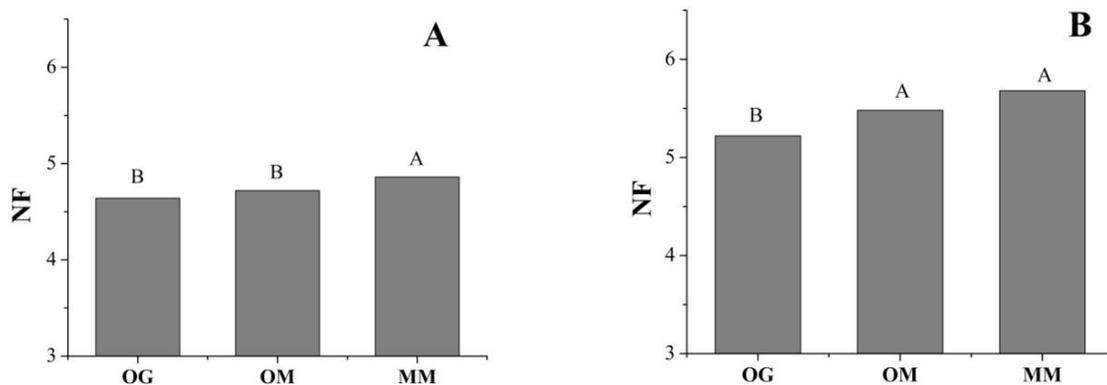
No segundo e quarto cultivos (Figura 4.11 B e D), fertilizante e dose apresentaram significância (Anexo 5). Deste modo, gerou-se um ajuste médio com uma equação quadrática e linear para os 3 fertilizantes testados para o segundo e quarto cultivo, respectivamente. No

segundo cultivo a dose de 167,71 mg kg<sup>-1</sup> de P que resultou em um NF de 5,38. Já no quarto cultivo, o coeficiente angular foi 0,0116, sendo este o ganho de NF por unidade de P aplicada.



**Figura 4.11.** Número de folhas (NF) de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função de doses de fertilizantes organominerais e mineral sólidos. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos; MED – efeito médio das doses independente do formulado.

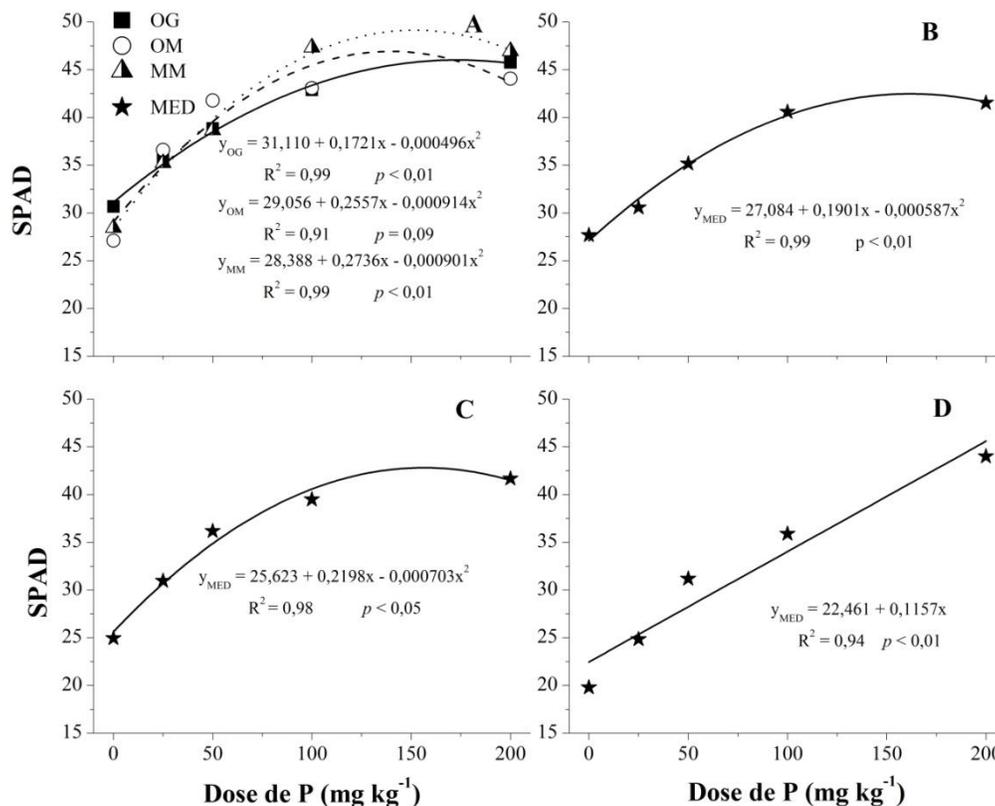
O efeito médio de todas as doses para um mesmo fertilizante, no segundo e quarto cultivos, pode ser observado na Figura 4.12. Verificou-se que os fertilizantes OG e OM não diferiram entre si e ainda apresentaram menor valor médio de NF do que o MM no segundo cultivo (Figura 4.12 A). No quarto cultivo, OG apresentou NF inferior a OM e MM, que não diferiram entre si (Figura 4.12 B).



**Figura 4.12.** Número de folhas (NF) de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função de fertilizantes organominerais e mineral fosfatados sólidos. A) Segundo e B) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos e MM – mineral mistura de grânulos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Na Figura 4.13, estão apresentados os resultados de SPAD dos 4 cultivos. No primeiro cultivo (Figura 4.13 A), observou-se significância para a interação dos fatores fertilizante e dose (Anexo 6), sendo que, para os 3 fertilizantes testados, o melhor modelo ajustado foi o quadrático. O maior SPAD foi observado nas doses de 173,49; 139,88 e 151,83 mg kg<sup>-1</sup> de P proporcionando SPAD de 46,04; 46,94 e 49,16 para OG, OM e MM, respectivamente. Isso resultou em uma ordem decrescente de SPAD de MM>OM> OG.

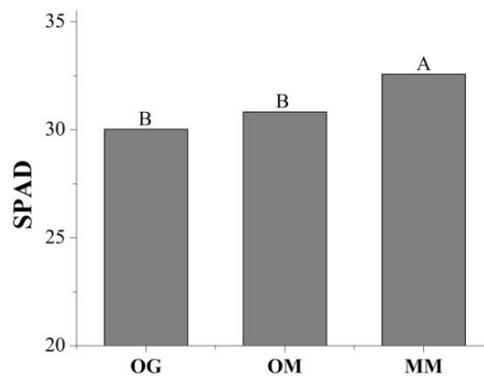
O SPAD do segundo e terceiro cultivos (Figura 4.13 B e C) apresentou significância apenas para o fator dose (Anexo 6), com ambos os cultivos ajustando-se ao modelo quadrático para a média dos fertilizantes dentro de cada dose. O maior SPAD foi alcançado nas doses de 161,92 e 156,33 mg kg<sup>-1</sup> de P, gerando valores de 42,47 e 42,80 para o segundo e terceiro cultivo, respectivamente.



**Figura 4.13.** Índice SPAD de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função de doses de fertilizantes fosfatados sólidos organominerais e minerais. A) Primeiro , B) Segundo , C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos; MED – efeito médio das doses independente do formulado.

O quarto cultivo (Figura 4.13 D) apresentou significância para os fatores fertilizante e dose (Anexo 6). Deste modo, para os 3 fertilizantes testados, o ajuste médio resultou em um modelo de equação linear, com o coeficiente angular de 0,1157, sendo este o aumento do SPAD por unidade de P aplicada.

O efeito médio de todas as doses para um mesmo fertilizante no quarto cultivo pode ser observado na Figura 4.14. Constatou-se que o fertilizante MM apresentou o maior valor médio de SPAD no quarto cultivo, sendo superior ao OG e OM, que não diferiram entre si.



**Figura 4.14.** Índice SPAD (SPAD) no quarto cultivo de milho (*Zea mays* L.) em função de diferentes fertilizantes fosfatados. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos e MM – mineral mistura de grânulos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

As leituras de SPAD efetuadas são relacionadas aos teores de clorofila das folhas das plantas. Essas leituras podem ser utilizadas como uma forma indireta de mensurar o teor de N foliar por possuir, em alguns casos, boa correlação com as leituras (Zuffo et al., 2012). Além disso, pode auxiliar na tomada de decisão para realização ou não de aplicações de N e para informar o estado nutricional das culturas. Entretanto, não deve ser utilizado para se definir doses de aplicação, pois outros fatores também devem ser levados em consideração (Argenta et al., 2003).

Ao longo dos quatro cultivos, pôde-se observar que o comportamento das respostas de SPAD acompanhou o comportamento dos gráficos de MSPA, mostrando que pode haver uma correlação entre a maior absorção de P, MSPA e SPAD, uma vez que tanto a variável MSPA quanto SPAD apresentaram respostas semelhantes em relação às doses de P. Prado & Vale (2008), avaliando o efeito de doses de N, P e K sobre a medida indireta de clorofila no porta-enxerto de limoeiro cravo, observaram que a aplicação de N influenciou a leitura SPAD e os efeitos do N na leitura SPAD são influenciados pelo P. E essa interação positiva possivelmente deve-se ao papel do P na nutrição das plantas como componente do ATP fornecendo energia ao processo ativo de absorção do N. Büll et al., (1998) observaram aumentos nos teores de clorofila proporcionais à elevação das doses de P aplicadas ao solo, em trabalho que avaliou adubação fosfatada orgânica e mineral em vários solos na cultura do alho.

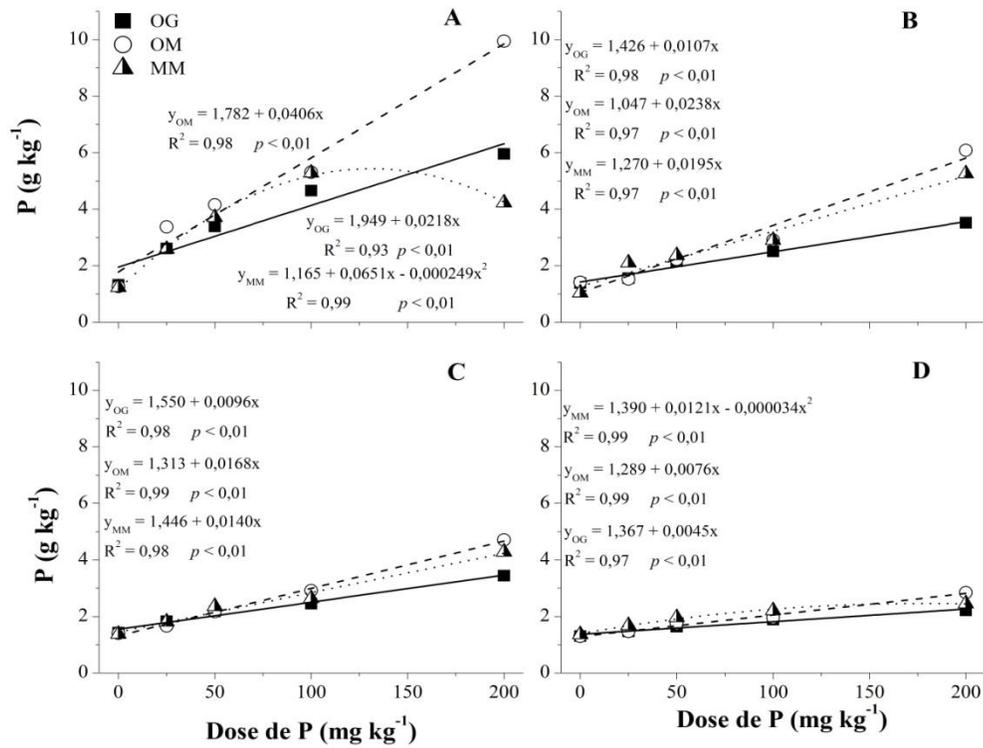
Büll et al., (1999) observaram que valores de SPAD obtidos para o superfosfato triplo foram superiores aos organominerais à base de lixo urbano com fertilizantes minerais na cultura do milho.

#### **4.5.2 TEORES DE MACRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS**

Os resultados de teores de P da MSPA dos 4 cultivos podem ser observados na Figuras 4.15. No primeiro cultivo (Figura 4.15 A), observou-se significância dos fatores fertilizante e dose (Anexo 7). Para MM, o melhor ajuste encontrado foi o modelo quadrático com o máximo teor de P da MSPA de  $5,42 \text{ g kg}^{-1}$  sendo observado na dose de  $130,72 \text{ mg kg}^{-1}$  de P. Para OG e OM, o melhor ajuste foi o linear, com coeficientes angulares de 0,0218 e 0,0406, respectivamente.

Os teores de P da MSPA no segundo e terceiro cultivo (Figura 4.15 B e C) apresentaram interação significativa entre fertilizante e dose (Anexo 7). Para os 3 fertilizantes testados no segundo e terceiro cultivos, o melhor modelo ajustado foi o linear. No segundo cultivo, os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OG, OM e MM foram 0,0107; 0,0238 e 0,0195, respectivamente. No terceiro cultivo, 0,0096; 0,0168 e 0,0140 são os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OG, OM e MM, respectivamente. Os coeficientes angulares representam o aumento dos teores de P da MSPA das plantas de milho por unidade de P aplicada. Para ambos os cultivos, o ganho no teor de P da MSPA por unidade de P acompanhou a seguinte ordem decrescente  $OM > MM > OG$

No quarto cultivo (Figura 4.15 D), observou-se significância para a interação entre fertilizante e dose (Anexo 7). Para OG e OM, o melhor ajuste encontrado foi o modelo linear. Já para o MM foi o modelo quadrático. Os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OG e OM foram 0,0045 e 0,0076, respectivamente, sendo o ganho no teor de P da MSPA por unidade de P aplicado superior para o OM. Para o MM, a dose de  $177,94 \text{ mg kg}^{-1}$  de P resultou no máximo teor de P ( $2,47 \text{ g kg}^{-1}$ ).

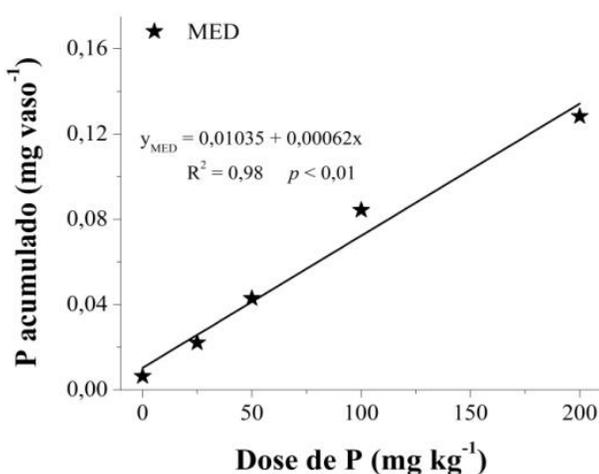


**Figura 4.15.** Teores de fósforo (P) na massa seca da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função das doses de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos.

Ao analisar os coeficientes angulares das curvas, observou-se uma redução ao longo dos 4 cultivos, podendo ser um indicativo de menor disponibilização de P ao longo do tempo.

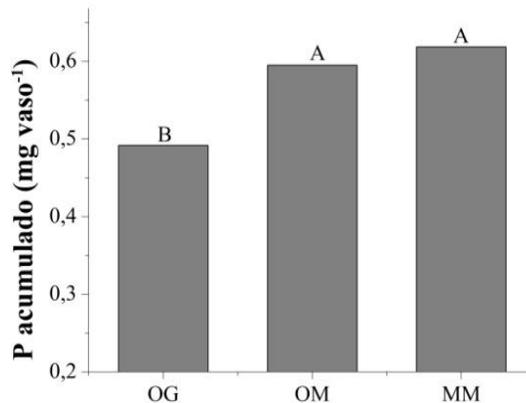
Além disso, como observado em todos os dados biométricos, independente da significância da interação entre dose e fertilizante, observou-se que com o número de cultivos as curvas de regressão ajustados tenderam às formas mais lineares (Figura 4.3, 4.7, 4.9, 4.11 e 4.13). O mesmo comportamento foi observado para os teores de P da MSPA (Figura 4.15). Este comportamento ocorreu pela maior exaustão de P nas menores doses de fertilizante aplicado, proporcionando deslocamento dos teores para valores menores. Os valores de 0, 25, 50, 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P são apenas teóricos, pois os valores reais no solo, provavelmente, são inferiores aos aplicados no primeiro cultivo.

Para o P acumulado, apenas os fatores fertilizante e dose apresentaram significância (Anexo 14 e Figura 4.16). Logo, gerou-se um ajuste médio com uma equação linear para os 3 fertilizantes avaliados. O coeficiente angular do modelo ajustado foi 0,00062, sendo este a quantidade de P acumulado ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) da MSPA por unidade de P aplicado. O efeito médio de todas as doses para um mesmo fertilizante pode ser observado na Figura 4.17. Constatou-se que o fertilizante OG apresentou o menor valor de teor de P da MSPA, sendo inferior ao OM e MM, que não diferiram entre si.



**Figura 4.16.** Fósforo extraído pela parte aérea (P acumulado) de plantas de milho (*Zea mays* L.) ao longo de 4 cultivos sucessivo sem função das doses de fertilizantes fosfatados sólidos. MED – efeito médio das doses independente do formulado.

Pôde-se observar que os teores de P da MSPA apresentaram similaridade de tendência aos valores de MSPA, de modo que no primeiro cultivo houve uma tendência ao ajuste quadrático, tanto para teores de P quanto para MSPA. Porém, do segundo cultivo até o quarto, P e MSPA tenderam aos ajustes lineares. Linearidade também observada por Couto (2011), independente do fertilizante. Isso também fica evidente ao observar o P acumulado (Figura 4.16) e a MSPAT (Figura 4.5), que após quatro cultivos apresentaram ajustes aos modelos lineares em função do aumento da dose de P aplicado. Entretanto, o OM no primeiro cultivo apresentou o maior teor de P da MSPA, não resultando na maior produção de MSPA, mostrando que nem sempre a maior absorção de P resulta em maior produção.



**Figura 4.17.** Fósforo extraído pela parte aérea (P acumulado) de plantas de milho (*Zea mays* L.) ao longo de 4 cultivos sucessivos em função de doses de fertilizantes fosfatados sólidos. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos e MM – mineral mistura de grânulos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Frazão (2013), avaliando fertilizantes organominerais granulados e fontes de P, observou que inicialmente o organomineral com cama de aviário e ST apresentou teores de P, em milho, maior que o ST e outros organominerais com fontes de P menos solúveis. Com o decorrer do tempo (cultivos), essa diferença não mais existiu, justificando isso pela formação de precipitados de P com Ca, principalmente com ST que é mais solúvel. Entretanto, isso pode também estar relacionado aos mecanismos de adsorção que se acentuaram com o tempo.

Büll et al. (1999), utilizando fertilizante organomineral tendo como base orgânica compostagem com lixo urbano na cultura do milho, apresentaram resultados que vão de encontro aos citados anteriormente. Porém, esse comportamento é fundamentado no efeito de diluição, uma vez que nesses tratamentos houve maior produção de MSPA. Tahir et al. (2011) também chegaram a resultados semelhantes na cultura do trigo com vasos em cultivo único, mostrando que a incubação de Superfosfato Simples (SS) com cama de aviário resultou em teores foliares de P maior que o SS sozinho.

Costa et al. (2011), avaliando três fontes de nutrientes na cultura do milho, não observaram diferença nos teores foliares de P entre adubação orgânica, mineral e organomineral,

embora isso possa ter ocorrido devido aos altos teores de P do solo antes da implantação do experimento e também pela maior difusão do P no solo em sistema de plantio direto.

De acordo com a Figura 4.16, para o P acumulado pelas plantas nos quatro cultivos, somente dose foi significativa ajustando-se ao modelo linear com ganhos de  $0,00062 \text{ mg P vaso}^{-1}$  para cada  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  de P adicionado ao solo. Frazão (2013) também obteve ajuste linear para o P acumulado após três ciclos de cultivo de milho, com o organomineral à base de cama de aviário e ST sendo superior ao mineral e aos organominerais à base de fosfatos reativos.

Pode-se observar também na Figura 4.17 que o OM foi superior ao OG, mostrando que, embora ambos sejam organominerais com cama de aviário como base orgânica, o OM, que é um mistura de grânulos, foi superior ao granulado.

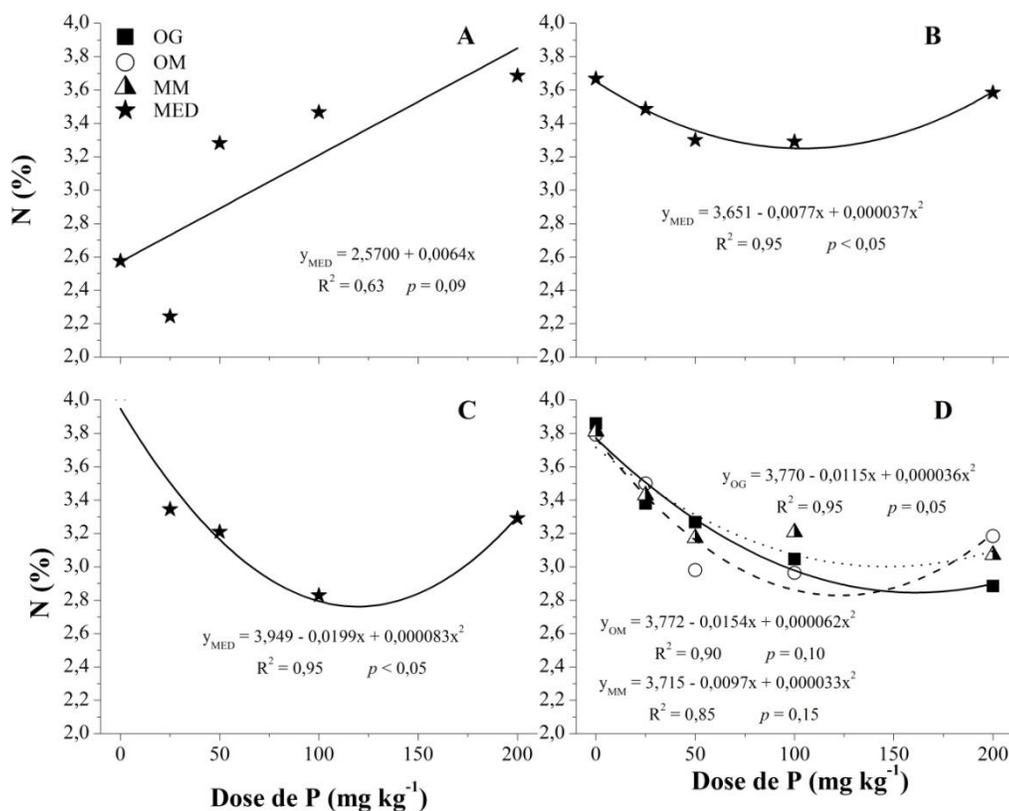
Foi observado em todos os cultivos que o tratamento com dose  $0 \text{ mg kg}^{-1}$  de P apresentou sintomas visuais típicos de deficiência de P, com arroxamento das folhas novas e crescimento reduzido das plantas. A dose de  $25 \text{ mg kg}^{-1}$  de P também começou a apresentar estes sintomas a partir do segundo cultivo. Essas respostas podem ser observadas na produção de matéria seca em função das doses de P. A ocorrência desses sintomas deve-se ao fato de que os teores de P das plantas estão abaixo do considerado ideal pra seu pleno desenvolvimento, que é de  $2,5-3,5 \text{ g kg}^{-1}$  (Malavolta et al., 1997).

Os resultados dos teores de N da MSPA nos 4 cultivos podem observados na Figura 4.18. No primeiro, segundo e terceiro cultivos (Figura 4.18 A, B e C), observou-se efeito significativo apenas para o fator dose (Anexo 8). No primeiro cultivo, o modelo linear foi o que melhor se ajustou para a média dos fertilizantes dentro de cada dose, sendo o coeficiente angular do modelo ajustado 0,0064.

Para o segundo e terceiro cultivos, o melhor modelo ajustado foi o quadrático com ponto de mínima. Dessa forma, nas doses  $104,05$  e  $119,88 \text{ mg kg}^{-1}$  de P, estimou-se um teor de N de  $3,25$  e  $2,76 \%$ , para o segundo e terceiro cultivos, respectivamente. Esses valores referem-se às doses que promoveram o menor teor de N na parte aérea da planta.

No quarto cultivo (Figura 4.18 D), observou-se significância para a interação fertilizante e dose (Anexo 8). Para os 3 fertilizantes testados, o melhor modelo ajustado foi o quadrático com ponto de mínima. Assim, foram obtidas as doses de P que resultaram nos menores teores de N. Os menores teores de N da MSPA das plantas foram observados nas doses de  $159,72$ ;  $124,19$  e

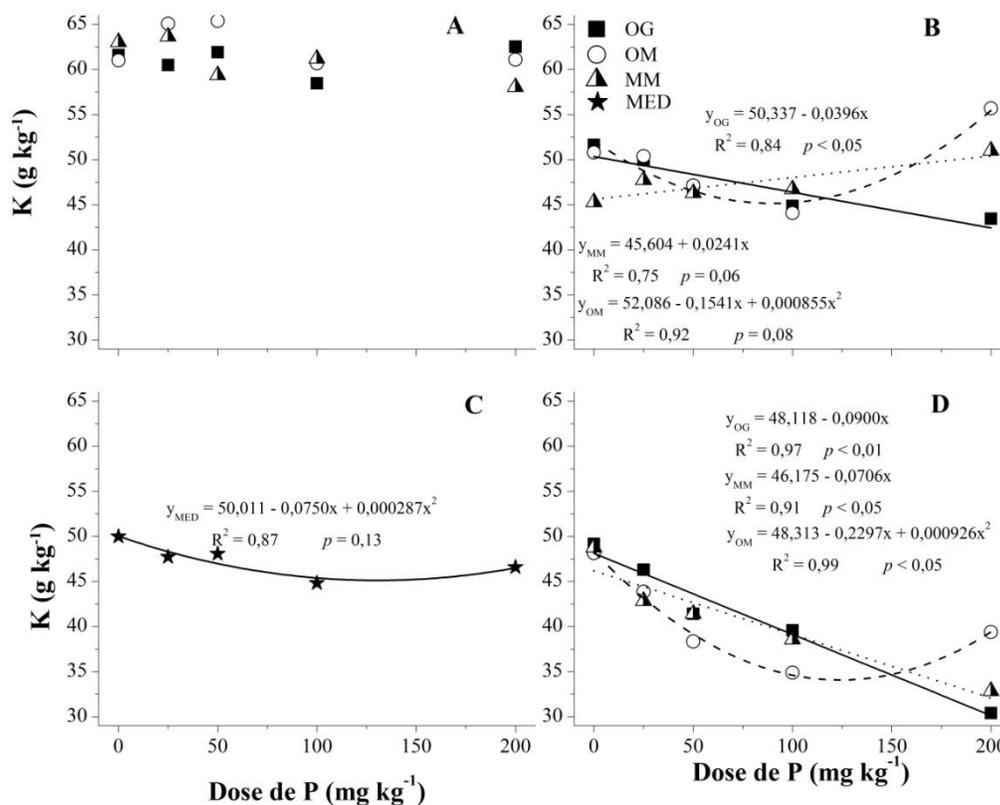
416,97 mg kg<sup>-1</sup> de P proporcionando teores de 2,85; 2,81 e 3,00 % para OG, OM e MM, respectivamente. A ordem decrescente dos teores de N foi MM > OG > OM.



**Figura 4.18.** Teores de nitrogênio (N) na massa seca da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função das doses de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos; MED – efeito médio das doses independente do formulado.

Frazão (2013) observou que, no primeiro cultivo de milho, os organominerais com fontes menos solúveis de P obtiveram maiores teores foliares de N do que fertilizantes minerais e organominerais à base de ST. Büll et al. (1999), avaliando fertilizantes minerais em comparação com organominerais nas culturas de milho, observaram que as plantas que foram fertilizadas com ST absorveram menos N que as plantas fertilizadas com organominerais ou apatita moída.

Os resultados dos teores de K da MSPA das plantas dos 4 cultivos podem observados na Figura 4.19.



**Figura 4.19.** Teores de potássio (K) na massa seca da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função das doses de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos; MED – efeito médio das doses independente do formulado.

No primeiro cultivo (Figura 4.19 A), os teores de K não diferiram significativamente em função dos fatores fertilizante, dose e interação entre eles (Anexo 9). Dessa forma, não houve ajuste de modelo para nenhum dos fatores.

No segundo cultivo (Figura 4.19 B), observou-se significância dos teores de K para a interação entre fertilizante e dose (Anexo 9). Para OG e MM, o melhor ajuste encontrado foi o modelo linear negativo e positivo, respectivamente. Já o OM, ajustou-se ao modelo quadrático

com ponto de mínima. Os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OG e MM foram -0,0396 e 0,0241, respectivamente, sendo o ganho nos teores de K por unidade de P superior para o MM. Para o OG, a dose 90,12 mg kg<sup>-1</sup> de P resultou em um teor de K de 45,14 g kg<sup>-1</sup>, sendo esta dose que promoveu o menor teor de K na parte aérea da planta.

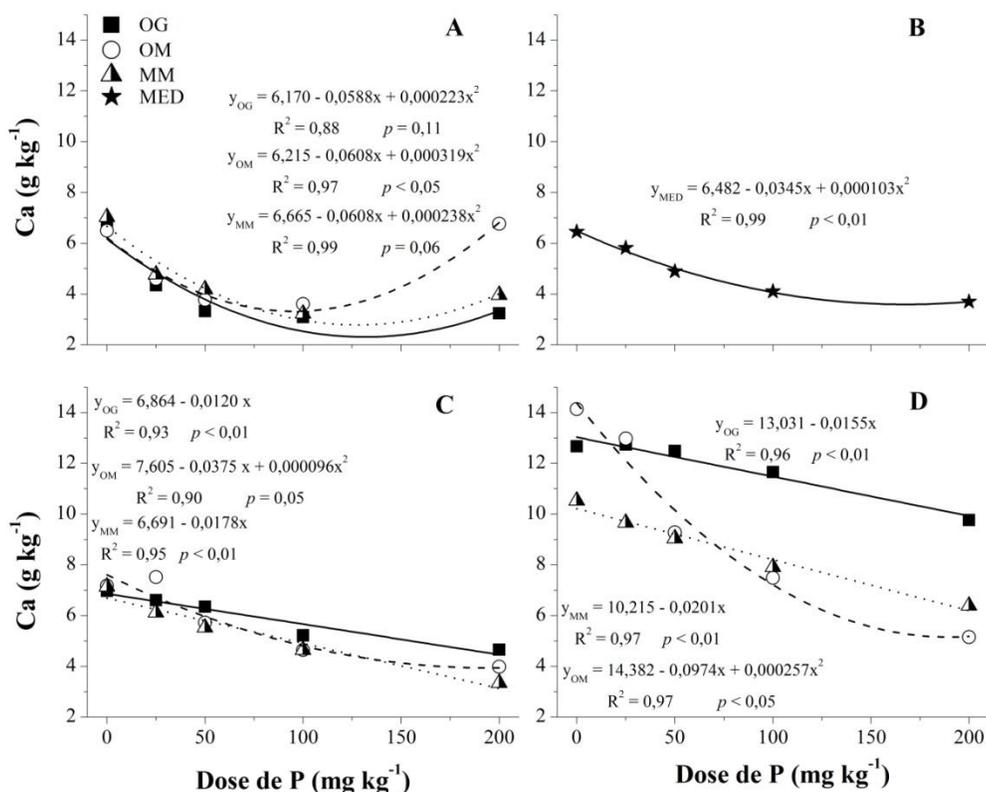
O teor de K do terceiro cultivo (Figura 4.19 C) apresentou significância apenas para o fator dose (Anexo 9), sendo ajustado a um modelo quadrático com ponto de mínima para a média dos fertilizantes dentro de cada dose. O menor teor de K foi alcançado na dose de 130,66 mg kg<sup>-1</sup> de P, que acarretou em um valor de 45,11 g kg<sup>-1</sup>.

No quarto cultivo (Figura 4.19 D), observou-se efeito significativo para a interação dos fatores fertilizante e dose (Anexo 9). Para os fertilizantes OG e MM, o melhor modelo ajustado foi o linear e, para o OM, foi o modelo quadrático com ponto de mínima. Os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OG e MM foram -0,0900 e -0,0706, respectivamente, sendo o ganho nos teores de K por unidade de P superior para o MM. O menor teor de K para OM foi observado na dose 124,03 mg kg<sup>-1</sup> de P proporcionando teor de 34,07 g kg<sup>-1</sup>.

Büll et al. (1999) observaram comportamento semelhante de K e N foliar, que foi citado anteriormente. Já Couto (2011) não observou diferença entre os tipos de fertilizantes, somente entre as doses.

Os resultados dos teores de Ca da MSPA das plantas dos 4 cultivos podem ser observados na Figura 4.20. No primeiro cultivo (Figura 4.20 A), observou-se efeito significativo para a interação dos fatores fertilizante e dose (Anexo 10). Para os 3 fertilizantes testados, o melhor modelo ajustado foi o quadrático com ponto de mínima. Os menores teores de Ca foram observados nas doses de 131,84; 95,30 e 127,73 mg kg<sup>-1</sup> de P proporcionando teores de 2,29; 3,32 e 2,78 g kg<sup>-1</sup> para OG, OM e MM, respectivamente. A ordem decrescente para os teores de Ca foi OM > MM > OG.

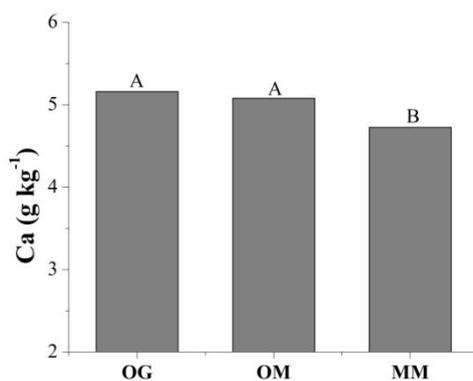
Houve influência significativa de fertilizante e dose no segundo cultivo (Anexo 10 e Figura 4.20 B). Desta forma, obteve-se um ajuste médio com uma equação quadrática para os 3 fertilizantes testados, sendo a dose de 167,48 mg kg<sup>-1</sup> de P que resultou no menor teor de Ca (3,59 g kg<sup>-1</sup>). O efeito médio de todas as doses para um mesmo fertilizante pode ser observado na Figura 4.21. Constatou-se que os fertilizantes OG e OM não diferiram entre si e apresentaram o maior teor de Ca do que o MM, no segundo cultivo.



**Figura 4.20.** Teores de cálcio (Ca) na massa seca da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função das doses de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos; MED – efeito médio das doses independente do formulado.

No terceiro cultivo, observou-se significância estatística para a interação entre fertilizante e dose (Anexo 10). Para OM, o melhor ajuste encontrado foi o modelo quadrático com ponto de mínima. Já para o OG e o MM, o melhor modelo foi o linear com um coeficiente angular de -0,0120 e -0,0178. O OM e MM apresentaram ganhos menores de MSPA nas doses menores de P tendo seu ganho unitário aumentado concomitantemente com as doses de P. Para o OM, o menor teor de Ca da MSPA foi alcançada na dose de 195,31 mg kg<sup>-1</sup> de P proporcionando teor de 3,94 g kg<sup>-1</sup>.

No quarto cultivo (Figura 4.20 D), observou-se interação significativa entre fertilizante e dose (Anexo 10). Para OG e MM, o melhor ajuste encontrado foi o modelo linear. Já para o OM, o melhor modelo ajustado foi o quadrático com ponto de mínima. Os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OG e MM foram -0,0155 e -0,0201, respectivamente, sendo a perda no teor de Ca por unidade de P superior para o MM. O OM na dose de 189,49 mg kg<sup>-1</sup> de P obteve o teor de Ca mínimo de 5,15 g kg<sup>-1</sup>.

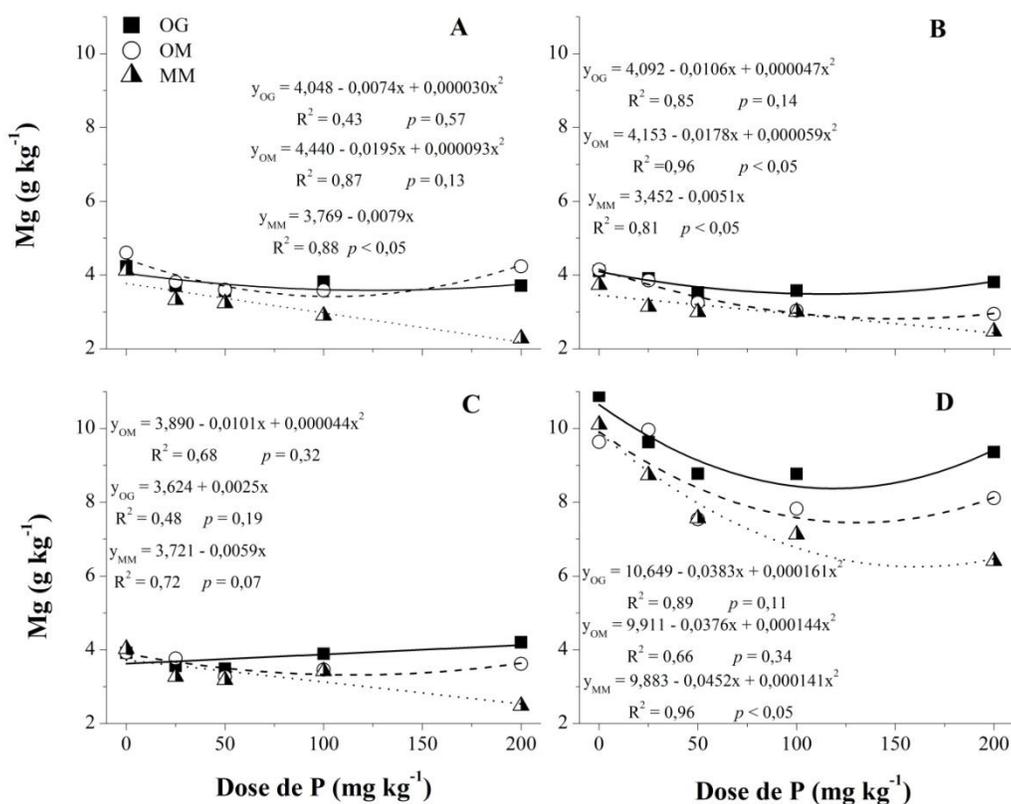


**Figura 4.21.** Teores de cálcio (Ca) na massa seca da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.), no segundo cultivo, em função de fertilizantes fosfatados organominerais e mineral sólidos. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos e MM – Mineral mistura de grânulos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Quando se comparam os teores de P e cada MSPA, nota-se que ambos mostram comportamentos opostos. Frazão (2013) também observou esse comportamento, porém com aumento dos teores de Ca e decréscimo nos teores de P em milheto, e atribuiu isso à possível formação de precipitados de P com Ca no solo. Couto (2011) observou em um dos organominerais avaliados que os teores foliares de Ca caíram com o aumento das doses devido a redução do pH gerado pelo fertilizante. Büll et al., (1999) não notaram diferença nos teores foliares de Ca em cada cultivo, entretanto, percebeu-se a tendência de queda ao longo dos cultivos. Fato que ocorre devido à exaustão dos teores desses elementos no solo.

Os resultados dos teores de Mg da MSPA dos 4 cultivos podem ser observados na Figura 4.22. Observou-se interação significativa dos fatores fertilizante e dose (Anexo 11) no primeiro cultivo (Figura 4.22 A). Para OG e OM, o melhor modelo ajustado foi o quadrático com ponto de

mínima. Dessa forma, menores teores de Mg foram observados nas doses de 123,33 e 104,84 mg kg<sup>-1</sup> de P proporcionando teores de 3,80 e 3,42 g kg<sup>-1</sup> para OG e OM, respectivamente. O MM ajustou-se ao modelo linear, com coeficiente angular de 0,0079, que representa a diminuição do teor de Mg com o aumento unitário das doses de P aplicadas. A ordem decrescente dos teores de Mg no primeiro cultivo foi OG > OM > MM.



**Figura 4.22.** Teores de magnésio (Mg) na massa seca da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em função das doses de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. A) Primeiro, B) Segundo, C) Terceiro e D) Quarto cultivo. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos.

A interação entre dose e fertilizante apresentou significância no segundo cultivo (Anexo 11 e Figura 4.22 B). Para OG e OM, o melhor ajuste encontrado foi o quadrático com ponto de mínima. Já para o MM, o melhor ajuste encontrado foi o modelo linear, com o coeficiente angular do modelo sendo -0,0051. Os menores teores de Mg foram observados nas doses de

112,77 e 150,85 mg kg<sup>-1</sup> de P proporcionando teores de 3,49 e 2,81 g kg<sup>-1</sup> para OM e MM, respectivamente.

No terceiro cultivo (Figura 4.22 C), observou-se efeito significativo para a interação entre fertilizante e dose (Anexo 11). Para OG e MM o melhor ajuste encontrado foi o modelo linear crescente e decrescente, respectivamente. Já para o OM o melhor modelo ajustado foi o quadrático com ponto de mínima. Os coeficientes angulares dos modelos ajustados para OG e MM foram 0,0025 e -0,0059, respectivamente. O OM apresentou o menor teor de Mg com a dose de 150,85 mg kg<sup>-1</sup> de P, que resultou em 3,31 g kg<sup>-1</sup>.

No quarto cultivo (Figura 4.22 D), observou-se significância para a interação dos fatores fertilizante e dose (Anexo 11). Para os 3 fertilizantes testados, o melhor modelo ajustado foi o quadrático com ponto de mínima. Os teores mínimos de Mg foram observados nas doses de 118,94; 130,56 e 160,28 mg kg<sup>-1</sup> de P proporcionando teores de 8,37; 7,46 e 6,26 g kg<sup>-1</sup> para OG, OM e MM, respectivamente. A ordem decrescente dos teores de Mg no quarto cultivo foi OG > OM > MM.

Em todos os cultivos, os três fertilizantes apresentaram tendência de queda dos teores de Mg com o aumento das doses de P, exceto para o OG, no terceiro cultivo, acontecendo de maneira mais acentuada com o MM. Couto (2011) obteve maior absorção de Mg pelas plantas com o aumento das doses de P quando adubadas com MAP, podendo estar relacionado ao menor acidificação do solo, aumentando, portanto, a disponibilidade de P às plantas. No caso dos organominerais, a redução dos teores de Mg pode estar relacionada à complexação do Mg pela MO dos fertilizantes, devido a alta afinidade de um pelo outro. Frazão (2013) atribuiu o menor teor de Mg foliar nos organominerais à afinidade de complexação de cátions metálicos pela MO.

De modo geral, pode-se observar que os teores de macronutrientes da MSPA das plantas de milho, exceto P, apresentaram tendência de redução com o aumento das doses de P muito semelhante, independente do fertilizante.

O comportamento de redução do teor foliar de nutrientes com o aumento das doses de P é também observado em outros trabalhos (Büll et al., 1999; Frazão, 2013; Ferreira, 2014; Teixeira, 2013), sendo atribuído ao efeito de diluição do nutriente na planta, uma vez que nesses casos os menores teores foliares de nutrientes condiziam com as maiores produções de MSPA. Este fato corrobora os resultados obtidos no presente trabalho, podendo ser observado ao analisar

as curvas de produção MSPA (Figura 4.3) e dos teores de nutrientes da MSPA das plantas (Figura 4.18; 4.19; 4.20 e 4.21).

Na Tabela 4.2, estão apresentados os resultados do IRP dos 4 cultivos. O IRP apresentou diferença significativa pela análise de variância (Anexo 12), de modo que o OM e MM não diferiram entre si e apresentaram valores maiores do que o OG. A não diferença entre OM e MM pode ter ocorrido devido à maior disponibilização de P proveniente dos compostos orgânicos, que por serem mais recalcitrantes levam maior tempo para serem liberados.

**Tabela 4.2.** Somatório dos índices de recuperação de fósforo (IRP) aplicados à plantas de milho (*Zea mays* L.) ao longo de 4 cultivos sucessivos em função de fertilizantes sólidos organominerais e mineral. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos.

FERTILIZANTE	DOSE P(mg kg <sup>-1</sup> )	IRP (%)
OG	25	16,26
	50	13,91
	100	13,75
	200	11,57
MÉDIA		13,87a
OM	25	16,60
	50	19,11
	100	17,09
	200	13,67
MÉDIA		16,62b
MM	25	20,21
	50	18,54
	100	19,77
	200	13,25
MÉDIA		17,94b

\*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Skott Knott a 5% de probabilidade.

Frazão (2013) observou redução do IRP com o aumento das doses, assim como no presente trabalho, entretanto, divergiu ao comparar as fontes de P, pois o organomineral foi superior ao ST em seu trabalho, sendo justificado pela maior suscetibilidade do P oriundo do ST

à adsorção e precipitação ao solubilizar-se. Foi observado também efeito sinérgico da MO e do P de modo que a adsorção e precipitação foram diminuídos nos tratamentos com organomineirais.

Por outro lado, Couto (2011) observou maior IRP para o MAP em comparação aos organominerais e atribuiu isso a possível redução de pH gerada pelo organomineral que pode ter favorecido formação de compostos insolúveis com Fe e Al, tornando o P indisponível às plantas.

Na Tabela 4.3, estão apresentados os resultados de índice de eficiência de uso do P (IEUP) dos 4 cultivos.

**Tabela 4.3.** Índice de eficiência de uso de P (IEUP) em função de fertilizantes sólidos organominerais e mineral quando aplicados à plantas de milho (*Zea mays* L.) ao longo de 4 cultivos sucessivos. OG – Organomineral granulado; OM – Organomineral mistura de grânulos; MM – mineral mistura de grânulos.

FERTILIZANTE	DOSE DE P	IEUP (g g <sup>-1</sup> )			
		CULT 1	CULT 2	CULT 3	CULT 4
OG	25	33,60	4,29	10,72	6,64
	50	21,48	4,55	8,14	6,19
	100	15,16	8,06	9,50	7,81
	200	7,21	5,09	6,90	11,28
MÉDIA		14,47ns	5,50a	8,82ns	7,98a
OM	25	31,06	2,69	3,22	4,53
	50	20,81	8,28	8,62	15,98
	100	15,08	8,04	10,31	14,82
	200	1,89	3,50	8,46	12,42
MÉDIA		11,50ns	5,62a	7,25ns	11,94b
MM	25	45,42	11,95	10,77	5,90
	50	24,87	9,47	11,67	11,84
	100	18,44	9,69	12,36	14,46
	200	6,76	5,13	7,65	13,66
MÉDIA		13,75ns	9,06b	10,61ns	11,47b

\*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Skott Knott a 5% de probabilidade.

A análise de variância (Anexo 13) não mostrou diferença significativa entre as médias dos fertilizantes no primeiro e terceiro cultivos, de modo que não é possível indicar qual dos três fertilizantes testados foi o que obteve maior IEUP.

As médias de IEUP dos fertilizantes do segundo e quarto cultivos apresentaram diferença significativa pela análise de variância (Anexo 13). No segundo cultivo, a média de IEUP do MM foi superior às médias de OG e OM, que não diferiram entre si. Já no quarto cultivo, as médias dos fertilizantes OM e MM não diferiram entre si e apresentaram maior IEUP que o OG.

O melhor desempenho do fertilizante mineral diante dos organominerais no segundo cultivo pode estar vinculado a sua maior solubilidade inicial. Entretanto, com o decorrer do tempo, observou-se no quarto cultivo que o OM e o MM não diferiram, como ocorrido com o IRP ao longo dos 4 cultivos (Tabela 4.2)

Ferreira (2014) observou que os fertilizantes MAP e ST foram mais eficientes no acúmulo de P e na produção de biomassa, em plantas de milho, em comparação com os organominerais, tanto para fertilizantes líquidos quanto para sólidos. Esse resultado ocorreu em resposta a maior disponibilização que estes fertilizantes promoveram no solo. De modo semelhante, Couto (2011) obteve superioridade com MAP na cultura do milheto. Já Büll et al., (1999) observaram que a compostagem de lixo urbano com fosfato de rocha não favoreceu a solubilização do P, não favorecendo também o índice de eficiência agrônômica, porém, a ausência de calagem proporcionou aumento do índice de eficiência por ter mantido o solo ácido.

Entretanto, Frazão (2013) concluiu que a associação de cama de aviário com ST na forma de organomineral granulado proporcionou maior IEUP que somente adubação mineral. Tahir et al., (2011) também observaram maior eficiência do P em SS encubados com cama de aviário quando comparados ao SS sozinho, no estágio vegetativo da cultura do trigo. Teixeira (2013) também obteve maior eficiência para formulados NPK organominerais quando comparados aos minerais em cana-de-açúcar, atribuindo o aumento da eficiência no aproveitamento dos nutrientes pela planta à presença de MO.

## 4.6 CONCLUSÃO

- As respostas dos dados biométricos e dos teores de P da MSPA às diferentes doses de P e aos fertilizantes apresentaram ajustes quadráticos inicialmente, porém, ao longo dos cultivos, passaram a ter tendências lineares.
- O fertilizante MM foi superior ao OG e OM por apresentar maior somatório da MSPAT;
- O índice SPAD mostrou comportamento similar à MSPA e aos teores de P da MSPA, mostrando que houve resposta às diferentes doses de P, de modo que os valores SPAD foram maiores quando as plantas obtiveram melhor desenvolvimento.
- No somatório dos 4 cultivos, as plantas adubadas com OM e MM não diferiram entre si e apresentaram maior P acumulado e IRP em relação ao OG.
- De modo geral, observou-se que o fertilizante OM apresentou melhor desempenho do que OG, com exceção do primeiro cultivo.

## 4.7 REFERÊNCIAS

- ABDALA, D. B.; GHOSH, A. K.; da SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F. e ALVAREZ, V. H. V. Phosphorus saturation of a tropical soil and related P leaching caused by poultry litter addition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 162, p. 15-23, 2012.
- ARGENTA, G. SILVA, P. R. F.; FOSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.109-119, 2003.
- BENITES V. DE M.; CORREA J. C.; MENEZES J. F. S.; POLIDORO J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. BRASIL. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, 2010.
- BÜLL, L.T., FORLI, F., TECCHIO, M.A., CORRÊA, J.C. Relações entre fósforo extraído por resina e respostas da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 22, p.459-70, 1998.
- BÜLL, L.T.; CORRÊA, J.C.; TECCHIO, M.A.; VILLAS BÔAS, R.L.; GUERRINI, I.A. Eficiência agrônômica de fertilizante fosfatado organo-mineral obtido através de compostagem com lixo urbano. *Cultura Agrônômica*, Ilha Solteira, v.8, n.1, p.1-22, 1999.
- CARVALHO, E. R.; de REZENDE, P. M.; de ANDRADE, M. J. B.; dos PASSOS, A. M. A.; OLIVEIRA, J. A. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agrônômicas da soja e nutrientes no solo. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 42, n. 4, p. 930-939, Fortaleza – CE, 2011.
- CASSOL, P. C.; da COSTA, A. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C. M. e ERNANI P. R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suíno. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 36, n. 6, p. 1911-1923, 2012.
- CONAB. Brasil - Série histórica de produtividade safras 1976/77 a 2014/15. 2015. Acessado em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>>.
- COSTA, M. S. S. de M.; STEINER, F.; COSTA, L. A. de M.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A. Nutrição e produtividade da cultura do milho em sistemas de culturas e fontes de adubação. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 58, n.2, p. 249-255, 2011.

COUTO, R. L. do. Quantificação de fósforo por diferentes extratores e eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados na absorção de nutrientes pelo milho. Dissertação. 42p. Universidade de Rio Verde, Rio Verde-GO, 2011

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Manual de métodos de análise de solo. – 2. ed. rev. atual. 212p. Rio de Janeiro, 1997.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos em dois níveis de acidez. R. Bras. Ci. Solo, 25:939-946, 2001.

FERREIRA, N. R. Eficiência agrônômica de fertilizantes organominerais sólidos e fluidos em relação a disponibilidade de fósforo. Dissertação de mestrado. 67 p. Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2014.

FRAZÃO, J. J. Eficiência agrônômica de fertilizantes organominerais granulados à base de cama de aviário e fontes de fósforo. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO, 88 p, 2013.

HINSINGER, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. *Plant and Soil*, v. 237, p. 173-195, 2001.

KIEHL, E. J. Novo Fertilizantes orgânicos. 248p. 1ª edição do autor, Piracicaba, 2010.

LÓPEZ-BUCIO, J.L.; M. de la VEJA, O.M. de la; GUEVARA-GARCÍA, A.; HERRERA-ESTRELLA L. Enhance phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. *Natural Biotechnology*, v. 18, p. 450-453, 2000.

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

MOSS, B. R.; REEVES, D. W.; LIN, J. C.; TORBERT, H.A.; MCELHENNEY, W. H.; MASK, P.; KEZAR, W. Yield and quality of three corn hybrids as affected by broiler litter fertilization and crop maturity. *Animal Feed Science and Technology*. V. 94, p. 43-56, 2001.

NOVAIS, R.F.; NEVES J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D. de; LOURENÇO, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SEA, Documentos 3,392 p. Brasília – DF, 1991.

PRADO, R de M. & VALE, D. W do. Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura SPAD em porta-enxerto de limoeiro cravo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia – GO, v. 38, n. 4, p. 227-232, 2008.

RASOOL, R.; KUKAL, S. S.; HIRA, G. S. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize–wheat system. *Soil & Tillage Research*. v.101,. p.31–36, 2008.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

SANCHEZ, P.A. & SALINAS, J.G. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. *Adv. Agron.*, 34:280-406, 1981.

SEAB. Estimativa de custo de produção – milho plantio direto. Disponível em: <[www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/newcp.xls](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/newcp.xls)>, acessado em fevereiro de 2015.

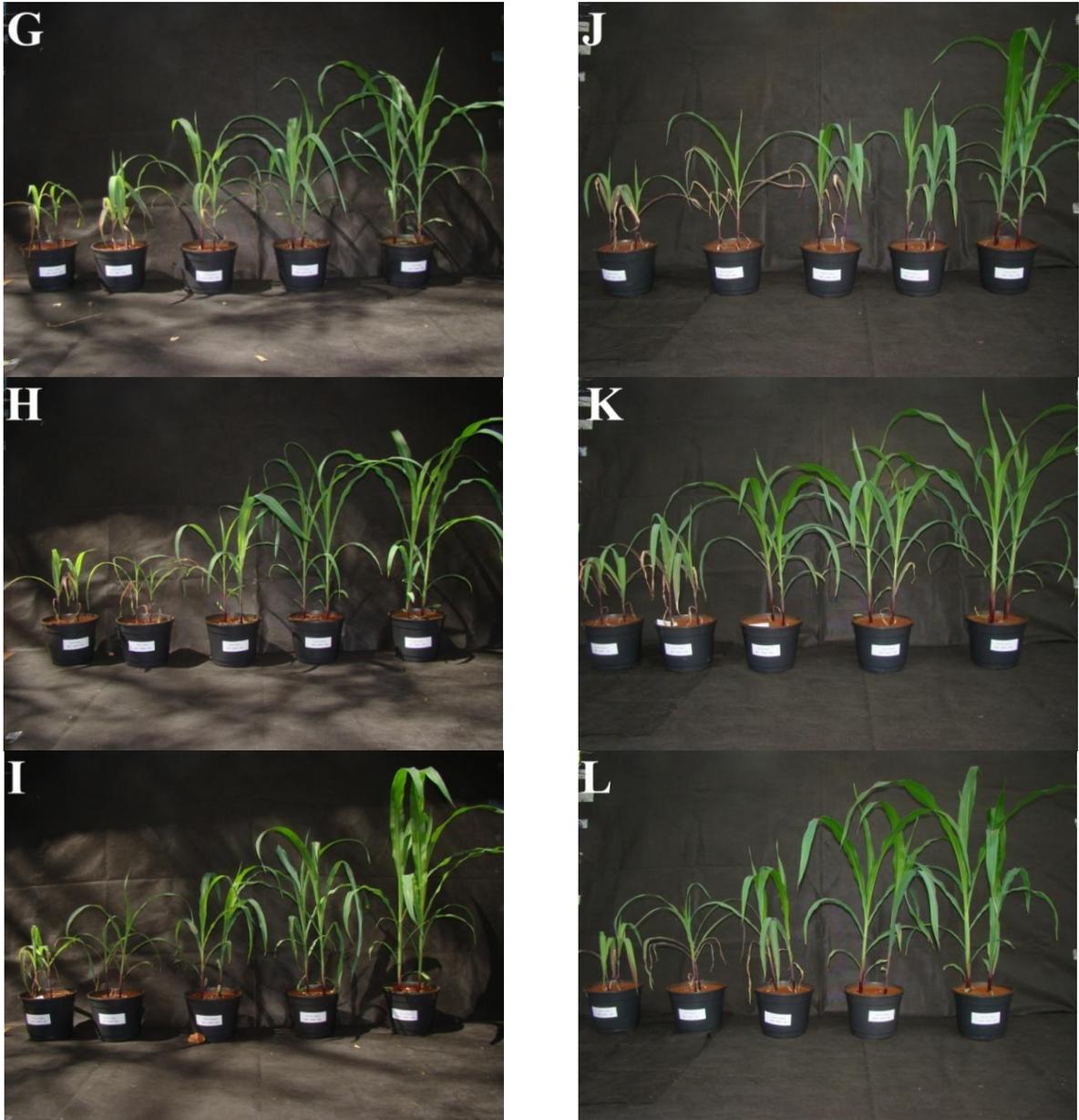
TAHIR, S.; ALAM, S. M.; AHMAD, Z. Wheat yield and phosphorus fertilizer efficiency as influenced by pre-incubated use of single superphosphate and poultry litter and its time application. *Journal of Plant Nutrition*, v. 34, p. 1034-1040, 2011.

TEIXEIRA, W. G. Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes mineral e organomineral. Dissertação. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de pós-graduação em agronomia. 99p. 2013.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FAQUIM, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesquisa agropecuária brasileira.*, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, out. 2002

ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; SCHOSSLER, T. R.; MILHOMEM, D. M.; PIAULINO, A. C. Eficiência na determinação indireta no nitrogênio foliar a partir do índice SPAD. *Centro Científico Conhecer*, v.8, n.15, p. 802-820, 2012.

## ANEXOS



**Anexo 1.** Visão geral das plantas submetidas às diferentes doses de P e fertilizantes fosfatados (organomineral granulado – OG, organomineral mistura de grânulos – OM e mineral mistura de grânulos – MM) em plantas de milho (*Zea mays* L.) com 35 dias após a emergência. Terceiro cultivo: G) OG, H) OM e I) MM. Quarto cultivo: J) OG, K) OM e L) MM.

**Anexo 2.** Resumo da Análise de Variância para produção da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e massa seca de parte aérea acumulada (MSPAT) de plantas de milho (*Zea mays* L.) ao longo de 4 cultivos sucessivos, em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. MSPA1) Primeiro, MSPA2) Segundo, MSPA3) Terceiro, MSPA4) Quarto cultivo e MSPAT) acumulado.

F.V.	G.L.	Q.M.				
		MSPA 1	MSPA 2	MSPA 3	MSPA 4	MSPAT
Fertilizante (A)	2	8,69*	5,11*	2,99 <sup>NS</sup>	16,44*	60,15*
Dose de P (B)	4	69,93*	63,51*	150,99*	387,84*	2055,78*
A vs B	8	5,29*	1,30 <sup>NS</sup>	1,49 <sup>NS</sup>	4,55*	17,62 <sup>NS</sup>
Resíduo	60	2,35	0,82	1,19	1,84	8,90
C.V. %		33,44	26,42	24,63	23,75	16,45
Média Geral		4,58	3,42	4,42	5,72	18,14

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 3.** Resumo da Análise de Variância para altura de plantas (ALT) em 4 cultivos de plantas de milho (*Zea mays* L.), em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. ALT1) Primeiro, ALT2) Segundo, ALT3) Terceiro e ALT4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
Fertilizante (A)	2	1644,91*	261,54*	320,93*	33,93 <sup>NS</sup>
Dose de P (B)	4	3753,65*	2512,56*	5829,38*	6730,36*
A vs B	8	483,47*	317,14*	110,11 <sup>NS</sup>	157,68 <sup>NS</sup>
Resíduo	135	121,94	82,34	63,74	88,10
C.V. %		20,06	17,61	16,72	18,99
Média Geral		55,05	51,53	47,76	49,43

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 4.** Resumo da Análise de Variância para diâmetro de colmo (DIA) em 4 cultivos de plantas de milho (*Zea mays* L.), em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. DIA1) Primeiro, DIA2) Segundo, DIA3) Terceiro e DIA4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		DIA 1	DIA2	DIA 3	DIA 4
Fertilizante	2	0,28 <sup>NS</sup>	5,17*	1,40 <sup>NS</sup>	7,57*
(A)					
Dose de P (B)	4	132,27*	106,84*	172,01*	290,68*
A vs B	8	1,38 <sup>NS</sup>	0,95 <sup>NS</sup>	3,21*	3,95*
Resíduo	135	2,21	0,87	1,42	1,95
C.V. %		17,35	13,57	15,78	17,61
Média Geral		8,56	6,86	7,54	7,93

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 5.** Resumo da Análise de Variância para número de folhas (NF) em 4 cultivos de plantas de milho (*Zea mays* L.), em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. NF1) Primeiro, NF2) Segundo, NF3) Terceiro e NF4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		NF 1	NF 2	NF 3	NF 4
Fertilizante	2	0,26 <sup>NS</sup>	0,62*	0,13 <sup>NS</sup>	2,66*
(A)					
Dose de P (B)	4	15,51*	8,92*	12,36*	27,46*
A vs B	8	1,66*	0,30 <sup>NS</sup>	0,10 <sup>NS</sup>	0,43 <sup>NS</sup>
Resíduo	135	0,21	0,16	0,16	0,32
C.V. %		8,68	8,42	7,77	10,30
Média Geral		5,32	4,74	5,21	5,46

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 6.** Resumo da Análise de Variância para índice SPAD em 4 de plantas de milho (*Zea mays* L.), em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. SPAD1) Primeiro, SPAD2) Segundo, SPAD3) Terceiro e SPAD4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		SPAD 1	SPAD 2	SPAD 3	SPAD 4
Fertilizante	2	8,70 <sup>NS</sup>	76,93 <sup>NS</sup>	10,54 <sup>NS</sup>	84,88*
(A)					
Dose de P (B)	4	1418,71*	1105,48*	1369,89*	2674,13*
A vs B	8	36,02*	37,47 <sup>NS</sup>	21,09 <sup>NS</sup>	26,48 <sup>NS</sup>
Resíduo	135	16,15	26,20	18,41	26,20
C.V. %		10,34	14,58	12,38	16,44
Média Geral		38,87	35,10	34,64	31,14

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 7.** Resumo da Análise de Variância para teores de fósforo (P) da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em 4 cultivos, em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. P1) Primeiro, P2) Segundo, P3) Terceiro e P4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		P 1	P 2	P 3	P 4
Fertilizante (A)	2	14,53*	2,65*	0,62*	0,35*
Dose de P (B)	4	64,90*	30,72*	17,04*	3,15*
A vs B	8	7,73*	1,75*	0,45*	0,13*
Resíduo	60	0,77	0,19	0,09	0,05
C.V. %		22,38	16,90	12,42	11,76
Média Geral		3,93	2,60	2,44	1,83

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 8.** Resumo da Análise de Variância para teores de nitrogênio (N) da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em 4 cultivos, em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. N1) Primeiro, N2) Segundo, N3) Terceiro e N4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		N 1	N 2	N 3	N 4
Fertilizante	2	2,74 <sup>NS</sup>	0,11 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>
(A)					
Dose de P (B)	4	5,65*	0,42*	2,87*	1,61*
A vs B	8	1,60 <sup>NS</sup>	0,11 <sup>NS</sup>	0,07 <sup>NS</sup>	0,07*
Resíduo	60	1,02	0,07	0,19	0,03
C.V. %		33,13	7,49	12,93	5,34
Média Geral		3,05	3,46	3,34	3,30

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 9.** Resumo da Análise de Variância para teores de potássio (K) da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em 4 cultivos, em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. K1) Primeiro, K2) Segundo, K3) Terceiro e K4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		K 1	K 2	K 3	K 4
Fertilizante	2	21,94 <sup>NS</sup>	41,21*	11,54 <sup>NS</sup>	1,84 <sup>NS</sup>
(A)					
Dose de P (B)	4	22,22 <sup>NS</sup>	62,65*	54,71*	479,43*
A vs B	8	23,44 <sup>NS</sup>	57,24*	8,71 <sup>NS</sup>	42,26*
Resíduo	60	17,71	9,28	6,71	11,59
C.V. %		6,84	6,33	5,46	8,29
Média Geral		61,57	48,13	47,44	41,06

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 10.** Resumo da Análise de Variância para teores de cálcio (Ca) da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em 4 cultivos, em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. Ca1) Primeiro, Ca2) Segundo, Ca3) Terceiro e Ca4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		Ca 1	Ca 2	Ca 3	Ca 4
Fertilizante (A)	2	5,19*	1,33*	2,51*	64,35*
Dose de P (B)	4	25,95*	19,82*	25,30*	69,66*
A vs B	8	3,49*	0,70 <sup>NS</sup>	0,93*	10,66*
Resíduo	60	0,42	0,36	0,39	1,14
C.V. %		14,02	12,08	11,01	10,56
Média Geral		4,60	4,99	5,71	10,13

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 11.** Resumo da Análise de Variância para teores de magnésio (Mg) da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em 4 cultivos, em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. Mg1) Primeiro, Mg2) Segundo, Mg3) Terceiro e Mg4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		Mg 1	Mg 2	Mg 3	Mg 4
Fertilizante (A)	2	4,42*	3,25*	1,84*	14,18*
Dose de P (B)	4	2,21*	2,12*	0,88*	17,09*
A vs B	8	0,68*	0,28*	0,69*	1,70*
Resíduo	60	0,07	0,09	0,13	0,67
C.V. %		7,49	8,55	9,97	9,40
Média Geral		3,65	3,43	3,57	8,70

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 12.** Resumo da Análise de Variância para somatório dos índices de recuperação de P (IRP) em 4 cultivos de plantas de milho (*Zea mays* L.), em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014.

F.V.	G.L.	Q.M.
		IRP
Fertilizante	2	86,14*
Resíduo	57	23,74
C.V. %		30,18
Média Geral		16,14

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 13.** Resumo da Análise de Variância para índice de eficiência de uso de P (IEUP) em 4 cultivos de plantas de milho (*Zea mays* L.), em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014. IEUP1) Primeiro, IEUP2) Segundo, IEUP3) Terceiro e IEUP4) Quarto cultivo.

F.V.	G.L.	Q.M.			
		IEUP 1	IEUP 2	IEUP 3	IEUP 4
Fertilizante	2	47,93 <sup>NS</sup>	81,72*	44,50 <sup>NS</sup>	93,51*
Resíduo	57	102,06	17,84	22,05	20,45
C.V. %		76,28	62,78	52,02	43,23
Média Geral		13,24	6,73	9,03	10,46

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Anexo 14.** Resumo da Análise de Variância para somatório de P extraído (P acumulado) pela parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) ao longo de 4 cultivos sucessivo, em experimento realizado em Maringá – PR, no ano de 2014.

F.V.	G.L.	Q.M.
		P acumulado
Fertilizante (A)	2	0,0011*
Dose de P (B)	4	0,0367*
A vs B	8	0,0002 <sup>NS</sup>
Resíduo	60	0,0001
C.V. %		19,81
Média Geral		0,06

OBS.: \* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

<sup>NS</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.